



Humberto Eduardo Ferreira Farto

Licenciado em Engenharia Geológica

Caracterização de rejeitados de escombreyras de mármore para aplicação em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Geológica - Georrecursos

Orientador: Doutor Joaquim Simão, Professor Auxiliar, DCT-FCT-UNL

Co-orientadora: Doutora Ana Cristina Freire, Investigadora Auxiliar, LNEC

Júri:

Presidente: Doutor José António de Almeida, Prof. Associado – FCT/UNL

Arguentes: Doutora Ana Paula Fernandes da Silva, Prof. Auxiliar – FCT/UNL

Vogais: Doutora Ana Cristina Freire, Inv. Auxiliar – LNEC



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho, 2017



Humberto Eduardo Ferreira Farto

Licenciado em Engenharia Geológica

Caracterização de rejeitados de escombreiras de mármore para aplicação em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Geológica - Georrecursos

Orientador: Doutor Joaquim Simão, Professor Auxiliar, DCT-FCT-UNL

Co-orientadora: Doutora Ana Cristina Freire, Investigadora Auxiliar, LNEC



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho, 2017

Caracterização de rejeitados de escomboreiras de mármore para aplicação em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários

Copyright © Humberto Eduardo Ferreira Farto, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2017.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Aos meus pais.

“A educação é para a alma, o que a escultura é para um bloco de mármore.”

Joseph Addison (1711)

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado sob orientação do Doutor Joaquim Simão, professor auxiliar do Departamento de Ciência da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, e da Doutora Ana Cristina Freire, investigadora auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. A eles quero expressar o meu profundo agradecimento pela orientação desta dissertação, acompanhamento e apoio na concretização deste trabalho.

A toda a equipa do departamento de Ciências da Terra da FCT-UNL, pela formação e enriquecimento académico ao longo do curso. Para além do meu orientador Doutor Joaquim Simão, quero agradecer ao coordenador do mestrado em Engenharia Geológica Doutor José António de Almeida, professor auxiliar deste departamento, pelo apoio no âmbito do mestrado e desta dissertação.

A toda a equipa do Núcleo de Infraestruturas de Transportes do LNEC, que tão bem me acolheram e apoiaram na fase de ensaios laboratoriais. Para além da minha coorientadora Doutora Ana Cristina Freire, quero agradecer à Engenheira Anabela Nogueira Maia, Técnica Superior do LNEC, a ajuda e disponibilidade no fornecimento de dados de apoio a este trabalho, e ao assistente técnico João Santos Costa, pelo acompanhamento permanente e apoio na realização dos ensaios laboratoriais.

À Mota-Engil Agregados o meu grande apreço pela disponibilização dos agregados, objeto de estudo neste trabalho, provenientes do seu Centro de Produção de Agregados de Vila Viçosa.

Ao Doutor Ruben Varela Martins, Professor Auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Évora, pela disponibilidade que demonstrou no fornecimento de informação sobre os agregados em estudo.

Aos meus pais, pelos valores, apoio e incentivo que sempre me transmitiram para a concretização dos meus objetivos, não só nesta fase final da minha formação superior, mas ao longo de toda a minha vida académica e pessoal.

A todos os meus amigos, pela paciência e carinho demonstrado e que de uma maneira ou de outra, sempre me apoiaram e incentivaram a atingir os meus objetivos.

RESUMO

A atividade extrativa e transformadora, tanto de minas como de pedreiras, gera grandes volumes de resíduos. Estes resíduos, que não têm um valor comercial implementado, assim como a ligação a outras indústrias de forma a proporcionar o seu escoamento, são depositados em aterro à superfície, constituindo as designadas escombreyas, ou bacias de lamas quando depositados em meio aquoso.

A indústria da construção em geral e dos pavimentos rodoviários em particular, são grandes consumidores de agregados naturais. Pretende-se efetuar uma ligação de simbiose entre indústria construtiva e as indústrias extrativa/transformadora. Para o êxito deste vínculo, torna-se necessário caracterizar adequadamente cada agregado tendo em conta o seu destino/aplicação. Depois de caracterizado, é importante a sua certificação de modo a uniformizar as suas propriedades para determinada aplicação.

Neste trabalho caracterizam-se resíduos de pedreiras de mármore da região de Estremoz, Borba e Vila Viçosa (Alentejo, Portugal) para averiguar a possibilidade da sua aplicação em pavimentos rodoviários. Apresentam-se e analisam-se os principais resultados obtidos no estudo laboratorial de caracterização de resíduos de escombreyas, conforme preconizado na norma harmonizada EN 13043:2002.

O objetivo final será avaliar a viabilidade de aplicação destes materiais em infraestruturas de transportes, nomeadamente nas camadas não ligadas de base e de sub-base.

Palavras chave: *Pedreira, Rejeitados de pedreira/escombreyas, Camadas não ligadas, Pavimentos rodoviários.*

ABSTRACT

The extractive/transforming activity, both as mines and quarries, generate large volumes of waste. This waste that doesn't have an implemented commercial value, as well its connection to other industries able to provide their flow, are landfilled on the surface, forming the so called designated heaps/tailings, or sludge basins when deposited in aqueous environment.

The construction industry in general and the road pavements in particular, are large consumers of natural aggregates. The aim is to make a symbiotic connection between the constructive and the extractive/processing industries. For the success of this bond, it is necessary to correctly characterize each aggregate regarding its destination/application. Once characterized, its certification is important in order to standardize their properties for a given application.

In this work, the waste/tailings of marble quarries in the region of Estremoz, Borba and Vila Viçosa (Alentejo, Portugal) were characterized in order to determine the possibility of their application in road pavements. The results obtained from the laboratorial characterization of tailing rejects, as established in the harmonized standard EN 13043:2002, are presented and analyzed.

The main goal is to evaluate the feasibility of applying these materials in road pavements, in particular in unbound layers of grade and subgrade.

Keywords: *Quarry, Tailings, Unbound Layers, Road Pavements.*

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos.....	IV
Resumo.....	V
Abstract	VI
Índice Geral	VIII
Índice de figuras	X
Índice de tabelas	XI
Abreviaturas e acrónimos.....	XII
1. Introdução.....	1
1.1 Apresentação do tema e seu enquadramento.....	1
1.2 Objectivos.....	3
1.3 Estrutura geral do trabalho	3
2. A problemática da recuperação de escomboreiras de pedreiras	4
2.1 Diplomas legais que regem a atividade extrativa e transformadora	4
2.2 Programas e planos para a inovação e gestão sustentável dos recursos geológicos	5
2.3 Resumo.....	10
3. Caracterização de agregados para aplicação em camadas de pavimentos.....	11
3.1 Definições.....	11
3.2 Especificações técnicas	12
3.3 Ensaio de caracterização em laboratório.....	13
3.3.1 Análise granulométrica.....	13
3.3.2 Índice de forma.....	15
3.3.3 Baridade.....	15
3.3.4 Massa volúmica.....	16
3.3.5 Equivalente de areia	17
3.3.6 Azul de metileno	17
3.3.7 Micro-Deval	18
3.3.8 Los Angeles.....	18
3.4 Modelação e classificação do comportamento mecânico.....	19
3.5 Considerações finais.....	23
4. Caso de estudo – Caracterização laboratorial das amostras	24
4.1 Generalidades	24
4.2 Enquadramento geográfico e geológico do mármore estudado (Vila Viçosa)	24
4.3 Caracterização laboratorial.....	26
4.3.1 Seleção e amostragem	26
4.3.2 Caracterização mineralógica, petrográfica e química.....	26
4.3.3 Caracterização física e mecânica.....	27
4.3.4 Ensaio laboratoriais.....	27

4.4	Análise e discussão de resultados.....	37
5.	Conclusões	40
6.	Referências bibliográficas	41
7.	Anexos: Boletins de registo dos ensaios laboratoriais.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Área cativa de exploração de mármore (PROZOM).....	9
Figura 2 – Estrutura de um pavimento flexível e seus constituintes.	12
Figura 3 - Secagem da amostra em estufa a 110°C e redução desta no esquadrelador.	13
Figura 4 – Balança e bateria de peneiros da série base + a série 2.....	14
Figura 5 – Paquímetro utilizado no ensaio do índice de forma.	15
Figura 6 – Recipiente para o ensaio da baridade.....	15
Figura 7 – Picnómetros com as frações 4 mm/0,063 mm e 31,5 mm/4 mm.	16
Figura 8 - Cesto de rede metálica.....	16
Figura 9 – Utensílios e aparelho para o ensaio do equivalente de areia.....	17
Figura 10 - Amostra e equipamento de ensaio do azul de metileno.....	17
Figura 11 - Equipamento para o ensaio de micro-Deval.....	18
Figura 12 - Equipamento para o ensaio de Los Angeles.....	18
Figura 13 – Solicitações induzidas no pavimento pela passagem de uma carga.....	19
Figura 14 – Deformação sofrida pelos materiais granulares.....	20
Figura 15 – Evolução da deformação de um material granular com o número de ciclos.....	20
Figura 16 - Enquadramento do anticlinal de Estremoz-Borba-Vila Viçosa.....	24
Figura 17 – Extrato do mapa geológico do anticlinal de Estremoz.....	25
Figura 18 – Aspeto inicial do material estudado - ABGE 0/32 TB.....	26
Figura 19 - Amostra do ABGE 0/32.....	26
Figura 20 - Amostra após lavagem e secagem.....	27
Figura 21 - Curva granulométrica ABGE 0/32.....	28
Figura 22 - Auréolas do ensaio do azul de metileno.....	31
Figura 23 - Preparação do ensaio de micro-Deval.....	32
Figura 24 – Aspeto do material no final do ensaio de Los Angeles.....	33
Figura 25 – Aspeto do cone (Fração 4 mm/0,063 mm).....	36
Figura 26 - Curva granulométrica do rejeitado de escombreira de mármore estudado.....	37
Figura 27 - Proposta de informação para marcação CE dos rejeitados de escombreira estudados.....	39

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação portuguesa das atividades económicas (CAE-Rev.3)	2
Tabela 2 - Desperdícios sólidos não perigosos da indústria extrativa (ton.)	2
Tabela 3 - Critérios de aceitação/rejeição dos agregados naturais, para camadas não ligadas.....	13
Tabela 4 – Dimensão da abertura dos peneiros.	14
Tabela 5 – Análise química	27
Tabela 6 - Percentagem acumulada de passados em cada peneiro	29
Tabela 7 - Requisitos gerais da granulometria.	29
Tabela 8 - Baridade, massa volúmica e percentagem de vazios.....	34
Tabela 9 - Massas volúmicas.....	37
Tabela 10 - Resumo dos ensaios e classificação	37
Tabela 11 - Critérios de aceitação/rejeição dos agregados naturais, para camadas não ligadas.....	38

ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

ABGE - Agregado Britado de Granulometria Extensa

ADC's - Áreas de Deposição Comum

AIA - Avaliação de Impacte Ambiental

APG - Associação Portuguesa de Geólogos

apud – Citado por

CAE-Rev.3 - Classificação Portuguesa das Atividades Económicas (3ª Revisão - 2007)

CCDR Alentejo - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo

Cluster - Agrupamento geograficamente concentrado de empresas inter-relacionadas e instituições correlacionadas numa determinada área vinculada por elementos comuns e complementares. (Porter, 1999, p.211).

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

DRE Alentejo - Direção Regional da Economia do Alentejo

EP-CETO - Estradas de Portugal - Caderno de Encargos Tipo de Obra

EDC Mármore - Empresa Gestora das Áreas de Deposição Comum dos Mármore S.A.

FEEI - Fundos Europeus Estruturais e de Investimento

INE - Instituto Nacional de Estatística

LER - Lista Europeia de Resíduos

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia

NACE-Rev.2 - Nomenclatura Estatística das Atividades Económicas na Comunidade Europeia (2ª Revisão - 2008)

PARP - Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística

PL - Plano de Lavra

PNGR - Plano Nacional de Gestão de Resíduos

PNPOT - Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território

PROTA - Plano Regional de Ordenamento do Território do Alentejo

PROZOM - Plano Regional de Ordenamento da Zona dos Mármores

Ref. - Referido/a

ROP- Rochas Ornamentais Portuguesas

RGGR - Regime Geral da Gestão de Resíduos

TB - Tout-venant Britado

UNOR 1 - Unidade de ordenamento de Estremoz

UNOR 2 - Unidade de ordenamento de Borba/Barro Branco/Ruivina

UNOR 3 - Unidade de ordenamento de Vigária

UNOR 4 - Unidade de ordenamento de Lagoa

UNOR 5 - Unidade de ordenamento de Pardais

ZM - Zona dos Mármores

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema e seu enquadramento

O setor da indústria de mármore representa um *cluster* a nível nacional, factor de desenvolvimento da região do triângulo marmorífero de Estremoz - Borba - Vila Viçosa, integrado no anticlinal de Estremoz. Sendo esta a principal área extrativa de mármore em Portugal, “permitiu a implementação desde 1980 das principais indústrias transformadoras em termos de dimensão e inovação tecnológica, fatores que contribuíram para o acréscimo da produtividade e das exportações” (Luz, 2005).

Todos os anos, a indústria extractiva local, produz milhões de toneladas de desperdício de mármore, acumuladas nas escombreyras dos concelhos de Estremoz, Borba e Vila Viçosa, que chega a representar 80 a 90% (Ribeiro, 2011) do total de rocha extraída.

Os desperdícios de mármore são materiais que não são aproveitados como rocha ornamental, devido à ausência de dimensão comercial (causados pela fracturação da jazida) ou a aspetos de ordem estética (manchas, filões, etc.).

Para a quantificação dos desperdícios de mármore (d), Costa (1992) propõe para cada pedreira a Equação 1.

$$d (\%) = \left\{ 1 - \left[\frac{e}{p(1-i_r)} - c \right] \right\} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

- e - Espessura de recobrimento (solos);
- p - Profundidade da escavação;
- c - Percentagem de estereis rochosos intercalados;
- i_r - Índice de recuperação.

Segundo o mesmo autor, para além dos desperdícios de mármore, os estereis depositados em escombreyra podem ser solos (de cobertura, de preenchimento de cavidades ou de alteração de rochas encaixadas na jazida) e rochas encaixantes (dolomitos, etc.) ou filonianas (doleritos, etc.).

Torna-se necessário proceder a uma classificação e separação dos diferentes rejeitados, tendo em conta a sua valorização.

De acordo com INE (2007), a Classificação Portuguesa das Atividades Económicas (CAE-Rev.3), estabelece o quadro das atividades económicas portuguesas, harmonizado com a Nomenclatura Estatística das Atividades Económicas na Comunidade Europeia (NACE-Rev.2), no âmbito do Regulamento da (CE) nº 1893/2006, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de Dezembro de 2006. O campo de atividade económica da indústria extrativa encontra-se categorizado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação portuguesa das atividades económicas (CAE-Rev.3), para a Indústria extrativa (INE, 2007)

Secção	Divisão	Grupo	Classe	Subclasse	Designação
B					Indústrias extrativas
	08				Outras indústrias extractivas
		081			Extração de pedra, areia e argila
			0811		Extração de rochas ornamentais e de outras pedras para construção, de calcário, de gesso, de cré e de ardósia
				08111	Extração de mármore e outras rochas carbonatadas
			0812		Extração de saibro, areia e pedra britada; Extração de argilas e caulino
				08121	Extração de saibro, areia e pedra britada (Inclui: Extração e britagem de pedras para agregados utilizados na construção)

A classificação dos resíduos resultantes da atividade económica acima referida, é efetuada de acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER), publicada pela Decisão 2014/955/UE, da Comissão, de 18 de dezembro, que altera a Decisão 2000/532/CE relativa à lista de resíduos em conformidade com a Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do respetivo Conselho, que representa uma lista harmonizada de resíduos que tem em consideração a origem e composição destes, classificando-os ainda como perigosos ou não perigosos.

A referida lista categoriza os diferentes tipos de resíduos, definindo-os por códigos de seis dígitos dos resíduos e por códigos de dois e quatro dígitos dos capítulos e subcapítulos respetivos.

A classificação processa-se da seguinte forma:

- ↳ 01 - Resíduos da prospeção e exploração de minas e pedreiras, bem como de tratamentos físicos e químicos das matérias extraídas
 - ↳ 01 01 - Resíduos da extração de minérios
 - ↳ 01 01 02 - Resíduos da extração de minérios não metálicos
 - ↳ 01 04 - Resíduos da transformação física e química de minérios não metálicos
 - ↳ 01 04 08 - Gravilhas e fragmentos de rocha, não perigosos.

A classificação dos rejeitados de pedra/escombrela inserem-se nos códigos LER: 01 01 02 e 01 04 08.

Na Tabela 2 apresentam-se os valores relativos aos desperdícios da indústria extrativa em Portugal, Itália e Espanha, permitindo-se ainda uma comparação com os valores registados na Europa dos 28 ((EU28).

Tabela 2 - Desperdícios sólidos não perigosos da indústria extrativa (ton.) (Eurostat, 2017)

	2004	2006	2008	2010	2012	2014
Portugal	3,127,665	1,905,403	164,323	256,901	227,248	267,912
Itália	687,828	851,392	1,108,199	561,571	343,852	373,561
Espanha	21,547,740	25,970,798	25,693,358	31,709,984	22,495,188	18,621,338
EU28	735,090,000	588,860,000	539,650,000	656,950,000	718,540,000	689,610,000

Da análise da Tabela 2, verifica-se uma discrepância dos valores dos desperdícios sólidos não perigosos da indústria extrativa, em Portugal, para os anos 2004 e 2006. Esta diferença na ordem de grandeza dos referidos valores nestes anos, relativamente aos restantes, deve-se de acordo com o texto explicativo dos metadados do Eurostat, a estes resultarem de uma estimativa.

Os elevados volumes de rejeitados de pedra são gerados, principalmente, devido a deficientes planeamentos do plano de lavra. Tal ocorre por falta de conhecimentos geológicos da jazida a explorar.

Segundo Carvalho (2008), os factores a ter em conta na decisão de exploração de rochas ornamentais são a homogeneidade das unidades geológicas (cor, textura, descontinuidades), o dimensionamento (espessura das unidades produtivas, volume total do depósito, disposição espacial) e estado de fracturação da jazida (direções preferenciais, frequência, densidade, intensidade, tipo e morfologia das fracturas). Esta carência de *know-how* tem consequências ao nível do ordenamento do território e da degradação ambiental.

Pretende-se neste trabalho estudar a viabilidade da reutilização deste desperdício das pedreiras de mármore, como agregado a aplicar em camadas não ligadas de base e de sub-base de pavimentos rodoviários.

Segundo Luz (2005), esta reutilização tem como vantagens, de ordem ambiental, a limpeza das escombreyas, libertando os terrenos subjacentes, que muitas vezes ocupam áreas exploráveis, reduzindo de forma muito significativa o impacte visual gerado por aquelas; e de ordem económica, por reaproveitamento de um material considerado como resíduo, sem custos de extração.

1.2 Objectivos

Esta tese de mestrado teve como objectivo efetuar a caracterização de rejeitados de escombreyas de uma pedra de rocha ornamental, nomeadamente um mármore, para aproveitamento como agregados para camadas não ligadas de pavimentos rodoviários. Para a adequada caracterização deste material, efetuou-se um conjunto alargado de ensaios geológicos e físico-mecânicos, com vista a estudar a sua viabilidade de utilização, tendo em consideração a norma harmonizada NP EN 13242:2002 e A1:2010.

1.3 Estrutura geral do trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos, referências bibliográficas e anexos:

O Capítulo 1 apresenta as considerações iniciais sobre o tema abordado ao longo da dissertação, objectivos e estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 expõe a crescente problemática da recuperação de escombreyas de mármore, que se estendem um pouco por todo o triângulo marmorífero de Estremoz-Borba-Vila Viçosa.

O Capítulo 3 descreve a caracterização de agregados para aplicação em camadas de Pavimentos. Essa caracterização tem em conta a bibliografia existente para este material e ensaios de laboratório.

O Capítulo 4 aborda a parte prática do caso em estudo, nomeadamente o enquadramento geográfico e geológico das amostras, assim como a sua caracterização através de ensaios laboratoriais e respectiva apresentação dos resultados.

O Capítulo 5 trata das principais conclusões dos resultados obtidos no capítulo anterior.

Referências bibliográficas utilizadas.

Em Anexo apresentam-se os boletins de registo dos ensaios de caracterização física e mecânica, realizados neste estudo.

2. A PROBLEMÁTICA DA RECUPERAÇÃO DE ESCOMBREIRAS DE PEDREIRAS

Um dos maiores desafios da indústria extrativa de pedra natural é o da gestão dos seus resíduos. Trata-se de uma atividade que gera grandes volumes de resíduos como, blocos não conformes, fragmentos de pedra não aproveitados resultantes da extração, e poeiras/lamas resultantes da transformação.

Os blocos não conformes e restantes fragmentos não utilizados comercialmente, são depositados em escombreyras, ocupando às vezes zonas de exploração. Apesar de se tratarem de resíduos inertes, não constituindo perigo sobre a forma de poluição ambiental, são gerados em grandes quantidades dificultando a sua deposição em escombreyra, resultando num impacto paisagístico significativo, com consequentes impactos económicos.

Para haver sustentabilidade nesta indústria, é necessário existir uma confluência entre diplomas legais e os programas de ordenamento do território.

2.1 Diplomas legais que regem a atividade extrativa e transformadora

A atividade extrativa e transformadora é regulada por um conjunto de Decretos-Lei, que estabelecem regimes jurídico e técnicos de base a esta indústria.

- Regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos

Lei-Base: Decreto-Lei n.º 90/90, de 16 de Março.

Atualizado pela Lei n.º 54/2015, de 22 de junho, a revelação e aproveitamento dos recursos geológicos existentes no território nacional, incluindo os localizados no espaço marítimo nacional (Lei n.º 54/2015, de 22 de junho e Decreto-Lei n.º 90/90, de 16 de março).

- Exploração de Pedreiras

Decreto-Lei n.º 340/07, de 12 de Outubro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 270/01, de 6 de Outubro - Lei das Pedreiras.

- Aterros/Escombreyras

O Decreto-Lei n.º 10/2010, de 4 de fevereiro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 31/2013, de 22 de fevereiro, transpondo pela ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/21/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 15 de março de 2006, estabelece o regime jurídico a que está sujeita a gestão de resíduos das explorações de depósitos minerais e de massas minerais.

Compete à direção-geral de energia e geologia (DGEG), anteriormente competia à direção regional de economia do Alentejo (DRE Alentejo), o licenciamento da construção, exploração e encerramento de aterros para resíduos resultantes da exploração de depósitos minerais e de massas minerais ou de atividades destinadas à transformação dos produtos resultantes desta exploração, tendo em vista evitar ou reduzir os potenciais efeitos negativos sobre o ambiente e os riscos para a saúde pública.

- Licenciamento de aterros dentro de pedreiras

Decreto-Lei n.º 13/2013, de 22 de fevereiro - Estão sujeitos a emissão das licenças de instalação de exploração os aterros destinados a resíduos inertes para deposição exclusiva de resíduos, constantes do Plano de Lavra (PL) de pedreiras e deposição de resíduos destinados à Recuperação Paisagística de pedreiras, constante no Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística (PARP).

Decreto-lei n.º 165/2014, de 5 de Novembro - No uso da autorização legislativa concedida pela Lei n.º 45/2014, de 16 de julho, estabelece, com caráter extraordinário, o regime de regularização e de alteração e ou ampliação de estabelecimentos de gestão de resíduos e de explorações de pedreiras incompatíveis com instrumentos de gestão territorial e ou condicionantes ao uso do solo.

Permite resolver inconformidades existentes entre explorações sem licença e os planos de ordenamento do território.

A decisão de aprovação do plano de lavra ou do plano de pedreira substitui a decisão de aprovação do projeto da instalação de resíduos, ou seja, não há uma duplicação de processos administrativos (Falé, 2015).

- Avaliação de Impacte Ambiental (AIA)

Segundo o Decreto-Lei n.º 179/2015 de 27 de agosto, que corresponde à 2ª alteração ao Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro (alterado pelo Decreto-Lei n.º 47/2014, de 24 de março), que estabelece o Regime Jurídico da Avaliação de Impacte Ambiental dos projetos públicos e privados suscetíveis de produzirem efeitos significativos no ambiente, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2011/92/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de dezembro de 2011, relativa à avaliação dos efeitos de determinados projetos públicos e privados no ambiente.

Prevê que a Comissão de Avaliação reúna especialistas em valores geológicos além de especialistas em ambiente, o que permite atender aos três pilares do desenvolvimento sustentável e assegurar que as decisões em sede de AIA incluam o conhecimento destes especialistas em geologia, garantindo a captação e realização de investimentos e a adequada exploração dos recursos (Cabral, 2013).

2.2 Programas e planos para a inovação e gestão sustentável dos recursos geológicos

Com o intuito de regular e implementar uma gestão sustentável dos recursos geológicos, foram criados planos e programas com orientações estratégicas, suportados por fundos comunitários, numa ótica de desenvolvimento regional e nacional. Trata-se de instrumentos com períodos temporais definidos, focalizados numa política de sustentabilidade ambiental.

- Portugal 2020

Programa Operacional Temático de Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos, no âmbito dos Fundos Europeus Estruturais e de Investimento (FEEI) 2014-2020, também designado por “Portugal 2020”.

- Plano Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR) para o horizonte 2014-2020

Aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros 11-C/2015, de 16 de Março.

Trata-se de um instrumento de planeamento macro da política de gestão de resíduos, estabelecendo as orientações estratégicas de prevenção e gestão destes, numa ótica de proteção do ambiente e desenvolvimento do País.

A gestão dos resíduos é da responsabilidade do produtor do resíduo. Estes podem fazer o tratamento nas próprias instalações, que é comum no caso da indústria extrativa.

O Plano de gestão de resíduos tem de ser revisto a cada 5 anos, e qualquer alteração do plano é obrigatoriamente comunicada à entidade licenciadora.

A entrega anual de um relatório de atividades da Instalação de Resíduos, poderá ser entregue juntamente com o relatório de exploração anual da pedreira.

No Plano de Lavra / Plano de Pedreira, a DGEG recomenda a entrega da documentação técnica da Instalação de Resíduos num volume individualizado (Falé, 2015).

- Cluster of Natural Stone - Valorpedra (2008-2013)

Consolidar e apostar na conquista dos mercados, na qualificação dos recursos e territórios e na inovação organizacional, tecnológica e produtiva são os três grandes eixos estratégicos do Cluster da Pedra Natural:

Projeto Âncora 1- Valorização da Pedra Natural

Projeto Âncora 2- Sustentabilidade Ambiental da Indústria Extrativa

Projeto Âncora 3- Inovstone - Novas tecnologias para a competitividade da Pedra Natural

(Valorpedra - Disponível em <http://www.valorpedra.com/cluster-da-pedra-natural/>)

- Partnership Portugal Mineral Resources (2014)

Plataforma constitutiva de uma Rede de Entidades Empresariais, Associativas e de I&D para a afirmação de uma Estratégia Comum para a Prospecção e Exploração dos Recursos Minerais em Portugal.

De acordo com a *Valorpedra*, a “Parceria para os Recursos Minerais é uma rede aberta e inclusiva, inicialmente constituída por mais de 20 entidades ligadas aos Recursos Metálicos e Não Metálicos, que se juntaram de forma a contribuir para a afirmação da capacidade competitiva dos recursos endógenos nacionais e dos territórios em que se inserem, para a sustentabilidade e eficiência do uso destes importantes recursos estratégicos, para o ordenamento dos respetivos territórios de implantação e para o desenvolvimento económico do País” (Valorpedra, 2014).

- Cluster Portugal Mineral Resources (Setembro de 2016)

Segundo a *Valorpedra* (2014), existe “a necessidade de dar um novo impulso à indústria portuguesa, promovendo as atividades novas e tradicionais de acordo com um novo paradigma assente na prospecção, na investigação e na inovação em torno dos recursos naturais endógenos do nosso País, com um particular destaque para os recursos geológicos, os quais constituem hoje um potencial de exploração e aproveitamento económico extremamente valioso para alargar a base produtiva de bens transacionáveis” (Valorpedra, 2014).

Tem por objetivos:

1º Promover a prospeção, a investigação e a inovação no setor industrial a fim de contribuir para um melhor conhecimento do potencial dos recursos minerais do País (onshore e offshore) e permitir uma exploração sustentável, melhorando a sua capacidade produtiva exportadora e o respetivo conteúdo de valor acrescentado nacional;

2º Reforçar a cooperação entre Universidades, Centros de Investigação, Associações Empresariais e Empresas no sentido de consolidar os sistemas de I&D e de Inovação nesta área e promover a excelência, a inovação, numa lógica de especialização inteligente, disseminando-as no tecido industrial, com especial foco nas PME's ;

3º Reforçar sinergias entre setores de atividade complementares, tanto na perspetiva do reforço da integração vertical (da matéria-prima ao produto acabado), como na perspetiva do reforço da complementaridade das fontes de matérias-primas (fontes primárias, reciclagem e substituição);

4º Contribuir para a consolidação de estratégias de inovação-internacionalização no setor;

5º Contribuir para uma estratégia de atração de IDE estruturante para a economia portuguesa, assegurando condições de transferência de conhecimento e tecnologia para a exploração de recursos minerais e potenciando a diversificação de potenciais de transformação desses recursos;

6º Contribuir para o Plano de Implementação de Estratégia Nacional para os Recursos Geológicos previsto no âmbito do Capítulo IV do RCM nº 78/2012.

7º Promover a participação ativa de Portugal nas iniciativas Europeias de apoio à investigação, desenvolvimento, inovação, empreendedorismo e transferência de tecnologia no sector dos recursos minerais, nomeadamente num futura Comunidade de Conhecimento e Inovação em Matérias Primas (KIC Raw Materials).

(Europa.eu, Cluster Portugal Mineral Resources, 2017). Disponível em (<http://ec.europa.eu/transparencyregister/public/consultation/displaylobbyist.do?id=499111825527-15>)

- Estratégia Nacional para os Recursos Geológicos - Recursos Minerais - Plano de Ação 2020

De acordo com a *Resolução do Conselho de Ministros nº 78/2012 de 11 de Setembro*, com vista a alcançar os objetivos a que se propõe, a ENRG-RM estabelece um plano de ação que integra um conjunto de medidas e ações específicas concretizadoras dos quatro eixos de atuação, com o horizonte de 2020 (Plano de Ação ENRG-RM 2020):

Eixo A - Adequação das bases do sector

Eixo B - Desenvolvimento do conhecimento e valorização do potencial nacional

Eixo C - Divulgação e promoção do potencial nacional

Eixo D - Sustentabilidade económica, social, ambiental e territorial

Destaca-se o Eixo D de atuação, devido à sua adequação ao presente trabalho, que abrange:

i) Reforço da capacidade dos agentes produtores

- Apoio à introdução de novas técnicas e tecnologias;
- Apoio ao desenvolvimento de novos produtos;
- Monitorização da extração.

ii) Reforço da comercialização de matérias-primas no mercado nacional

- Apoio à criação de grandes unidades de venda por grosso e a retalho junto dos principais centros urbanos;
- Apoio a atividades e serviços de natureza artesanal;
- Caracterização das especificações físico-químicas dos diferentes tipos de materiais e a sua adequação a diferentes tipos de utilização na construção.

- iii) Promoção das exportações
 - Apoio à criação de estruturas privadas vocacionadas para a comercialização agregada de produtos;
 - Apoio à participação em feiras e outros eventos internacionais;
 - Incentivo à promoção de parcerias internacionais para acesso a novos mercados.
 - iv) Planeamento territorial
 - Acompanhamento do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT) e de outros instrumentos de gestão territorial;
 - Elaboração de plano sectorial dos recursos geológicos, no âmbito do Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial e respetiva avaliação dos efeitos no ambiente.
 - v) Preservação de recursos e garantia de abastecimento de matérias-primas
 - Demarcação de áreas de interesse geológico e respetiva classificação legal, bem como de áreas para exploração futura;
 - Divulgação dos recursos minerais como recursos naturais não renováveis, inserindo-os no contexto do património natural nacional que importa conhecer, preservar e valorizar;
 - Apoio a novas atividades vocacionadas para a valorização *in situ* dos recursos.
 - vi) Garantias da exploração e recuperação
 - Estabelecimento de um sistema de garantias financeiras (*royalties*) nos contratos a celebrar com as empresas privadas para salvaguardar a boa execução dos investimentos contratuais associados à exploração e dos projetos de recuperação.
 - vii) Aproveitamento do ciclo de vida integral e reciclagem
 - Apoio à utilização de recursos minerais não integralmente aproveitados.
 - viii) Redução do passivo ambiental
 - Eliminação ou minimização de efeitos ambientais negativos em minas e pedreiras abandonadas;
 - Reabilitação do legado mineiro;
 - Manutenção e monitorização de recuperações já concretizadas.
 - ix) Avaliação ambiental estratégica e acompanhamento ambiental de planos e programas
 - Aprofundamento do conhecimento acerca dos impactes ambientais da atividade e do desempenho das medidas de minimização aplicáveis tendo em vista reduzir o impacte ambiental dos planos e programas;
 - Promoção do uso eficiente dos recursos na atividade.
- (RCM nº 78 - Plano de Ação ENRG-RM 2020, 2012)

Segundo Cabral (2013), desde o início de 2013 que todos os novos contratos de exploração e de prospeção e pesquisa, já incluem o uso de até 25% do valor de *royalties* em projetos que beneficiem as comunidades locais.

- Plano Regional de Ordenamento do Território da Zona dos Mármore (PROZOM)

A Resolução do Conselho de Ministros nº 93/2002, de 8 de Maio, aprovou o Plano Regional de Ordenamento do Território da Zona dos Mármore (PROZOM), que pretende:

- a) Garantir a exploração racional do mármore;
- b) Proteger e valorizar outros recursos naturais, com especial relevância para os recursos hídricos, solo agrícola e estruturas ecológicas;
- c) Reorganizar as redes internas de infraestruturas e acessibilidade e respetiva articulação;

- d) Garantir o adequado aproveitamento de desperdícios e subprodutos resultantes da exploração;
- e) Fomentar a recuperação progressiva da zona afetada;
- f) Definir usos e atividades alternativas mediante um adequado zonamento e estabelecimento de normas de utilização do espaço, em articulação com as propostas municipais de ordenamento do território, conjugando a importância da atividade extrativa com as demais atividades económicas e a valorização ambiental da zona;
- g) Impedir a continuação da degradação ambiental dentro da área cativa.

O PROZOM define cinco unidades de ordenamento (UNOR), em que cada uma corresponde a zonas geográficas de concentração de núcleos extrativos e Áreas de Deposição Comum (ADC's) para cada UNOR. Estas unidades, representadas na Figura 1, são denominadas: UNOR 1 (Estremoz), UNOR 2 (Borba/Barro Branco/Ruivina), UNOR 3 (Vigária), UNOR 4 (Lagoa) e UNOR 5 (Pardais), sendo que para cada uma delas é elaborado um Plano de Intervenção em Espaço Rural (PIER). Apenas dois foram realizados e implementados, nomeadamente o PIER da UNOR 2 e o PIER da UNOR 3. (Pliz, 2016)

As ADC's são geridas pela EDC Mármores, S.A..

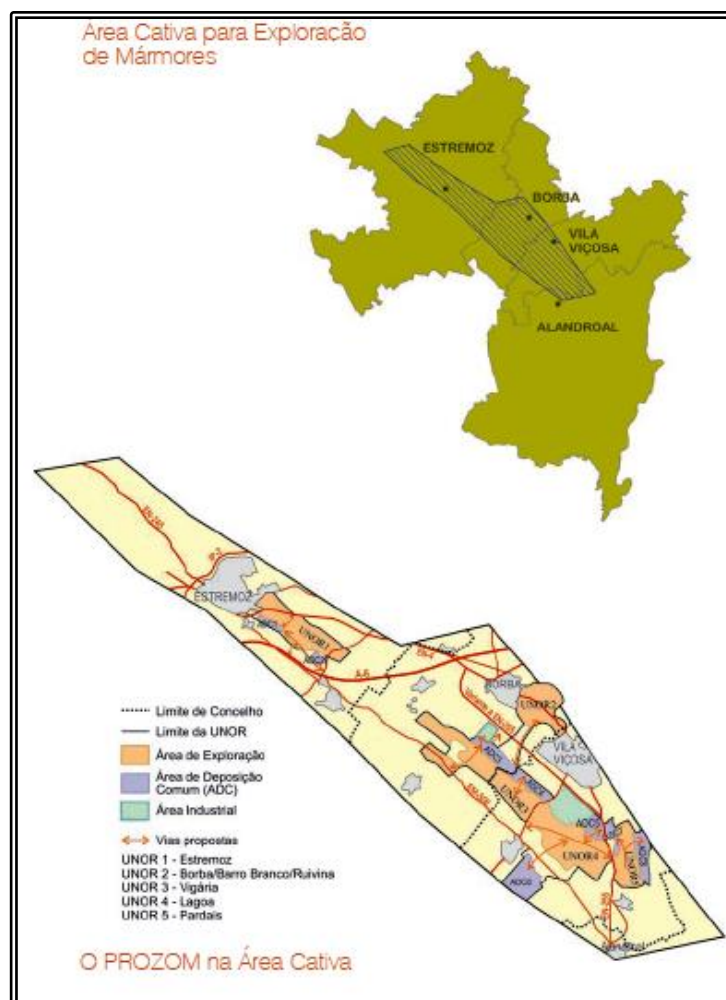


Figura 1 – Área cativa de exploração de mármore (PROZOM) (Carvalho, 2008).

O PROZOM foi revogado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2010, de 2 de agosto de 2010, aquando da implementação do PROT Alentejo.

- PROT Alentejo (PROTA)

O Plano Regional de Ordenamento do Território do Alentejo foi aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2010, publicada no Diário da República, 1.ª série n.º 148, de 2 de Agosto de 2010, tendo entrado em vigor a 3 de Agosto do mesmo ano.

Pretende, em continuidade com as premissas do PROZOM, não só ordenar o território do ponto de vista da estratégia económica e de desenvolvimento da região, como da viabilização e incentivo à exploração e reaproveitamento dos recursos endógenos.

- PROVERE - Zona dos mármore

Projeto âncora:

1. Valorização e gestão dos resíduos: investigação e desenvolvimento de subprodutos

Tendo como promotor do projeto a EDC Mármore, S.A., pretende-se acabar com o passivo ambiental da indústria extrativa e valorização dos seus resíduos, que tem como linha de ação:

A adoção de métodos que promovam o conhecimento de novas aplicações para os subprodutos da extração e transformação das pedras, constitui uma das principais medidas de intervenção, na ótica da utilização eficiente dos recursos e de atenuação de impactes ambientais negativos. Outro dos objetivos deste projeto passa pela consolidação gradual de novas utilizações para os subprodutos da extração e transformação das pedras naturais, viabilizando o seu aproveitamento económico (PROVERE – Zona dos Mármore).

Em 2013, segundo notícia do *Jornal Expresso*, uma empresa chinesa adquiriu 35% da empresa EDC Mármore do Alentejo, por 24 milhões de euros. Pretende transformar os desperdícios de mármore noutra subproduto com valor acrescentado (marmorite), utilizado para a construção. Onde 80% desta produção destina-se a ser exportada para a China. (Araújo, 2014 e *Jornal Expresso* (2013))

2.3 **Resumo**

A região do Alentejo evidencia várias fragilidades no domínio do conhecimento técnico/científico, da inovação empresarial e da ligação das empresas às instituições de desenvolvimento científico e tecnológico.

O confluir das políticas de ordenamento de território com os programas de estratégia económica sectorial, impulsionadores de desenvolvimento regional, permite que a extração de recursos geológicos não comprometa o equilíbrio ambiental e a sustentabilidade das regiões em que se insere.

Urge reprogramar, aplicar e fiscalizar a gestão sustentável dos recursos de acordo com uma economia circular (Valente, 2015), em que se favorece a valorização dos resíduos resultantes da indústria extrativa. Estes são processados e aplicados noutras indústrias através da redução e reutilização, passando de resíduos a subprodutos.

3. CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTOS

3.1 Definições

De forma a contribuir para o desenvolvimento económico regional e o eficiente reaproveitamento da elevada quantidade de rejeitados de escombreyas, deve existir uma boa rede rodoviária de ligação às regiões contíguas, a nível nacional e internacional. A construção de pavimentos rodoviários utilizando estes agregados naturais, permite aceder regionalmente a este material a custo baixo, e a nível nacional ter acesso à fonte de produção através das ADC's, permitindo a escoamento destes subprodutos.

Segundo a EP-CETO (2014), agregado é o material granular usado na construção, podendo ser:

- Natural: agregado de origem mineral, apenas sujeito a processamento mecânico.
- Artificial: agregado de origem mineral, resultante de um processamento industrial compreendendo modificações térmicas ou outras.
- Reciclado - agregado resultante do processamento de materiais inorgânicos anteriormente utilizados na construção

Os agregados naturais devem ser homogêneos e estar isentos de matéria orgânica ou substâncias impuras, e estar de acordo com os critérios propostos pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, ou seja, serem pouco suscetíveis à meteorização e apresentarem-se são ou muito pouco alterados. O material granular representa 100% do material empregue nas camadas de base e sub-base de um pavimento e 80-90% das camadas betuminosas (Santos, 2010).

De acordo com Reis (2009), os materiais constituintes de cada camada componente dos pavimentos são, da base para o topo:

- Fundação do pavimento ou leito do pavimento - solos ou materiais granulares.
- Sub-base - solos seleccionados, agregados britados de granulometria extensa (ABGE) ou solos/agregados com adição de ligantes hidráulicos.
- Base - agregados britados de granulometria extensa (ABGE), podendo ser tratados com ligantes hidráulicos ou betuminosos.

A escolha do tipo de pavimento a construir numa determinada região, depende dos materiais disponíveis, das condições da fundação, do clima, do tráfego previsto e dos custos de execução.


Segundo Santos (2010), para diferentes comportamentos dos pavimentos rodoviários e em função dos materiais utilizados e da sua deformabilidade, estes são classificados em:

- Pavimentos flexíveis - as camadas superiores são em misturas betuminosas, sendo as camadas subjacentes em materiais granulares.
- Pavimentos rígidos - a camada superior de desgaste é constituída por materiais estabilizados com ligantes hidráulicos, seguida de, ou uma camada granular de transição também estabilizada com ligante hidráulico, ou uma camada granular de sub-base.

- Pavimentos semirrígidos - a camada superior é constituída por materiais ligados por ligantes betuminosos, aplicada sobre uma camada de base de materiais granulares tratados com ligantes hidráulicos, e uma camada de sub-base estabilizada mecanicamente.

Os pavimentos flexíveis representam a predominância construtiva de pavimentos rodoviários em Portugal (Santos, 2009).

Na Figura 2 apresenta-se, de forma esquemática, a estrutura de um pavimento flexível, assim como os seus constituintes (designação, materiais e espessura das camadas).



Camadas	Materiais	Espessuras (cm)
Camada de desgaste	Misturas betuminosas	4 – 8
Camada de regularização	Misturas betuminosas	4 – 10
Camada de base	Misturas betuminosas Materiais granulares	15 – 30
Camada de sub-base	Materiais granulares Solos tratados Solos seleccionados	15 – 30
Leito do pavimento	Materiais granulares Solos tratados Solos seleccionados	-

Figura 2 – Estrutura de um pavimento flexível e seus constituintes (Azevedo, 2012; Reis, 2009).

Segundo Reis (2009), a resistência estrutural dos pavimentos flexíveis é dada pelas diferentes camadas que o constituem, assim como os materiais usados, sendo a camada de base a mais importante por receber os esforços de tráfego provenientes da camada de desgaste, uniformizando as tensões e, posteriormente, transmitindo-as para a camada de sub-base.

O material constituinte de cada camada é sujeito a um rigoroso controlo de qualidade, de acordo com as especificações técnicas em vigor.

3.2 Especificações técnicas

Para a caracterização de uma dada propriedade, existem normas distintas estruturadas em (Jeremias & Freire, 2009):

- Ensaio para a determinação das propriedades gerais dos agregados (EN 932)
- Ensaio das propriedades geométricas dos agregados (EN 933)
- Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados (EN 1097)
- Ensaio das propriedades térmicas e de meteorização dos agregados (EN 1367)
- Ensaio das propriedades químicas dos agregados (EN 1744)

Em função do tipo de aplicação como agregados, estes materiais devem obedecer, segundo o Caderno de Encargos da Estradas de Portugal (EP-CETO, 2014), aos critérios específicos para materiais naturais em camadas granulares com características de base e sub-base, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Critérios de aceitação/rejeição dos agregados naturais, para camadas não ligadas (NP EN 13242:2002+A1:2010) (adaptado de EP-CETO, 2014).

Requisitos/ Propriedades	Referência normativa	Unidades	Camada de sub-base	Camada de base
			ABGE	ABGE
			Rubrica 14.03.1.1.2	Rubrica 14.03.1.2.1
Forma do agregado grosso - Índice de achatamento	NP EN 933-3	%	FI ₃₅	30 ^(a)
Qualidade dos finos - valor de equivalente de areia, mínimo e valor do ensaio de azul de metileno, máximo	NP EN 933-8, NP EN 933-9	% g/kg	Se o teor total de finos for superior a 3%, então SE≥40. Caso SE<40, então MB≤2,5	Se o teor total de finos for superior a 3%, então SE≥50. Caso SE<50, então MB≤2,0
Resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso, coeficiente micro- Deval	NP EN 1097-1	--	M _{DE} 35	M _{DE} 25
Resistência à fragmentação do agregado grosso, coeficiente Los Angeles	NP EN 1097-2	--	LA ₄₅	LA ₄₀
Massa volúmica das partículas	NP EN 1097-6	Mg/m ³	Valor a declarar	
Absorção de água	NP EN 1097-6	%	Valor a declarar	
(a) – Como a Norma NP EN 13242 não possui a categoria FI30, são indicados os valores requeridos.				

3.3 Ensaios de caracterização em laboratório

3.3.1 Análise granulométrica

Para a preparação do provete a ensaiar, deve-se proceder previamente à redução da amostra segundo a NP EN 932-2:2002. A Figura 3 mostra a secagem da amostra em estufa a 110°C, tendo sido posteriormente reduzida com o auxílio de um espartelador.



Figura 3 - Secagem da amostra em estufa a 110°C e redução desta no espartelador.

De acordo com a norma EN 933-1:2014, procede-se à análise granulométrica do material em estudo, agregado britado de granulometria extensa. Este material possui uma dimensão máxima (D_{\max}) de 40 mm ($D \geq 31.5$ mm)

$$D_{\max} = 40 \text{ mm};$$

$$M = (D_{\max}/10)^2 = 16 \text{ Kg, em que } M \text{ representa a massa.}$$

$$M_1 = 17 \text{ Kg, em que } M_1 \text{ representa a massa seca total.}$$

A pesagem da amostra é efetuada através de uma balança com a precisão de $\pm 0,1\%$ da massa do provete (Figura 4), e separada através de uma bateria de peneiros pertencentes à série base + a série 2 (Tabela 4).



Figura 4 – Balança e bateria de peneiros da série base + a série 2.

Tabela 4 – Dimensão da abertura dos peneiros.

Série Base (mm)	Série 2 (mm)
	0,063
	0,125
	0,250
	0,500
1	
2	
4	
	6,3
8	
	10
	12,5
	14
16	
	20
31,5	
	40
63	

3.3.2 Índice de forma

De acordo com a norma NP EN 933-4:2008, procede-se ao cálculo do índice de forma, para $D > 2d$ (em que “D” representa a dimensão máxima e “d” a dimensão mínima da amostra a ensaiar) e frações granulométricas reduzidas, conforme a norma EN 932-2:2002.

Este ensaio consiste na classificação de partículas individuais numa amostra de agregado grosso, com base na relação entre o comprimento, L, e a espessura, E, utilizando um paquímetro (Figura 5). O índice de forma é calculado como a massa das partículas com uma razão $L/E > 3$, expressa em percentagem da massa total seca das partículas ensaiadas.



Figura 5 – Paquímetro utilizado no ensaio do índice de forma.

3.3.3 Baridade

De acordo com a norma NP EN 1097-3:2002, procede-se à determinação da baridade e do volume de vazios. A baridade ou densidade aparente é o quociente entre o peso do agregado seco e o seu volume total. Quanto maior for a baridade da rocha tanto maior será a sua resistência à compressão. O volume de vazios é calculado através da massa volúmica e da densidade de partículas, sendo expresso em percentagem.

O recipiente utilizado no ensaio representado na Figura 6 possui um volume de 10 L, sendo que a relação entre o diâmetro interior e a profundidade interna do contentor deve estar compreendida entre 0,5 e 0,8.



Figura 6 – Recipiente para o ensaio da baridade

(Adaptado de: https://www.alibaba.com/product-detail/Bulk-Density-Measure_1890792974.html)

Para o cálculo da baridade considera-se o agregado como um todo, tendo em conta o volume de vazios. Outra grandeza física que representa o quociente entre a massa e o volume é a massa volúmica. Para o seu cálculo considera-se o agregado como partículas individuais, desconsiderando-se o ar existente entre estas.

3.3.4 Massa volúmica

De acordo com a norma NP EN 1097-6:2003, procede-se à determinação das massas volúmicas do ABGE. A massa volúmica das partículas é calculada a partir da razão entre a massa e o volume.

A massa é determinada através pesagem do provete, de partículas previamente saturadas, com superfície seca e a partir de outra pesagem do mesmo provete após secagem em estufa.

O volume é determinado a partir da massa da água deslocada, quer pela redução da massa no método do cesto de rede metálica, quer por pesagens no método do picnómetro.

Métodos de ensaio, para as diferentes frações granulométricas:

- Método do Picnómetro (Figura 7)
- Fração 4 mm/0,063 mm
- Fração 31,5 mm/4 mm

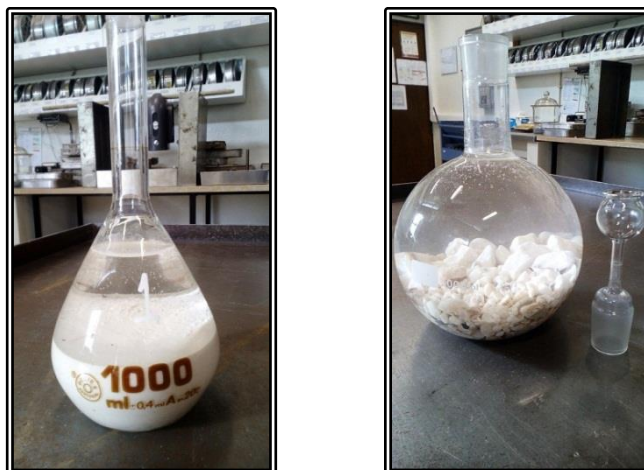


Figura 7 – Picnómetros com as frações 4 mm/0,063 mm (à esquerda) e 31,5 mm/4 mm (à direita).

- Método do Cesto de Rede Metálica (Figura 8)
- Fração 63 mm/31,5 mm



Figura 8 - Cesto de rede metálica

(Adaptada de <http://www.mltest.com/images/stories/h-3371.jpg>)

O cesto de rede metálica deve possuir a dimensão suficiente para conter o agregado a ensaiar e capacidade para a sua emersão em água, de acordo com a norma em vigor. A massa volúmica é calculada a partir dos pesos do cesto com e sem agregado e da massa do agregado depois de seco em estufa.

3.3.5 Equivalente de areia

Para a aferir a limpeza da amostra, nomeadamente a quantidade e a qualidade dos finos, procede-se de acordo com a norma NP EN 933-8:2014, à determinação do equivalente de areia (SE) da fração 0/2 mm contida no ABGE, utilizando o material e equipamento de ensaios presentes na Figura 9.

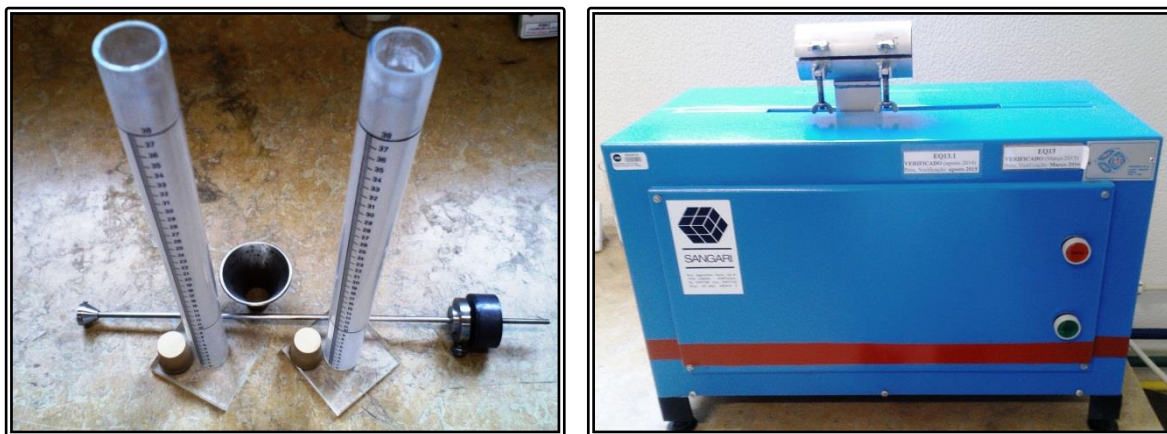


Figura 9 – Utensílios e aparelho para o ensaio do equivalente de areia

3.3.6 Azul de metileno

Para aferir a presença de finos prejudiciais na amostra, como minerais de argila, procede-se de acordo com a norma NP EN 933-9:2009 e A1:2013, à determinação do azul de metileno (MB) da fração 0/2 mm contida no ABGE, utilizando o equipamento de ensaio presente na Figura 10.



Figura 10 - Amostra e equipamento de ensaio do azul de metileno

3.3.7 Micro-Deval

Para a determinação da resistência ao desgaste da amostra, procede-se segundo a norma NP EN 1097-1:2011, ao ensaio de desgaste por atrito do agregado, para partículas compreendidas entre 10 mm e 14 mm, através do equipamento apresentado na Figura 11.

O coeficiente de Micro-Deval (M_{DE}) é aferido pela percentagem da amostra original reduzida a um tamanho inferior a 1,6 mm durante o decurso do ensaio, sendo o desgaste produzido pela fricção entre os agregados e a carga abrasiva (esferas metálicas) no tambor rotativo em meio aquoso (via húmida). As esferas são de aço e cada uma possui um diâmetro de cerca de 10 mm.

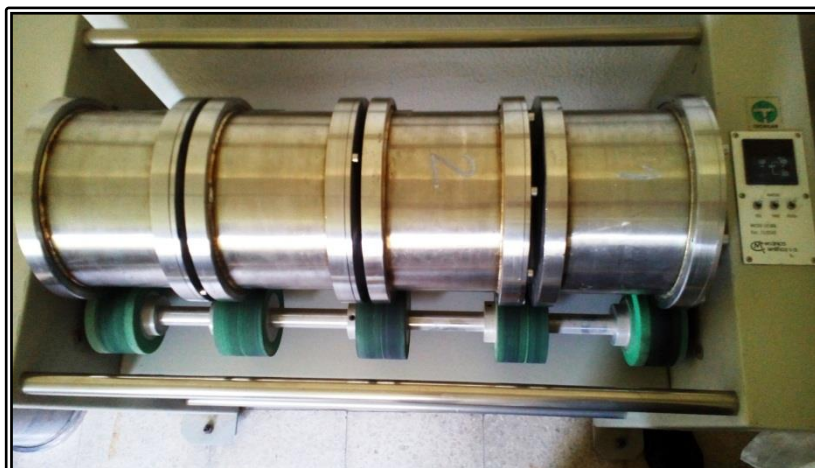


Figura 11 - Equipamento para o ensaio de micro-Deval.

3.3.8 Los Angeles

Para a determinação da resistência à fragmentação da amostra, procede-se segundo a norma NP EN 1097-2:2011, ao ensaio de resistência de Los Angeles, para partículas compreendidas entre 10 mm e 14 mm, através do equipamento apresentado na Figura 12.

O coeficiente de Los Angeles (LA) é aferido pela percentagem da amostra original reduzida a um tamanho inferior a 1,6 mm durante o decurso do ensaio, sendo a fragmentação produzida pela fricção entre os agregados e a carga abrasiva (esferas metálicas) no tambor rotativo em meio seco. As esferas são de aço e cada uma possui um diâmetro compreendido entre 45 mm e 49 mm.



Figura 12 - Equipamento para o ensaio de Los Angeles.

3.4 Modelação e classificação do comportamento mecânico

No processo de pavimentação, para se alcançar um bom desempenho de um pavimento constituído por camadas granulares, é crucial o conhecimento das características dos agregados, de forma a controlar a uniformidade destes. Essa caracterização é feita através de um conjunto de ensaios, preconizados na norma NP EN 13242:2002 e A1:2010-pt - Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária.

Para agregados britados de granulometria extensa (ABGE), para além dos requisitos definidos na norma referida anteriormente, devem ser considerados os requisitos definidos na norma EN 13285:2010-en - Unbound mixtures – Specifications.

As camadas granulares não ligadas, estabilizadas mecanicamente, suportam as cargas provocadas pelo tráfego, sendo fundamentais para o bom comportamento estrutural do pavimento.

De acordo com Silva (2006), “a camada de base tem uma função estrutural de redução das pressões verticais, diminuindo as tensões de compressão na camada de sub-base. A sub-base granular tem a função de diminuir as tensões de compressão na fundação. Além disso, permite que o solo de fundação seja capaz de suportar a circulação de obra, ao reduzir as tensões no solo de fundação e ao homogeneizar as características mecânicas da superfície de circulação em obra.”

Segundo Luzia (2008), a passagem de veículos num pavimento rodoviário (carga rolante), induz neste um conjunto de tensões:

- Tensão vertical ($\sigma_1 = \sigma_v$)
- Tensão horizontal ($\sigma_3 = \sigma_h$)
- Tensão tangencial (τ)

Como se verifica na Figura 13, quando a carga se situa na vertical num determinado ponto do pavimento, as tensões principais nesse ponto são as verticais (σ_1) e as horizontais (σ_3), sendo as tangenciais (τ) nulas. Em qualquer outro ponto, o estado de tensões envolve a rotação das tensões principais.

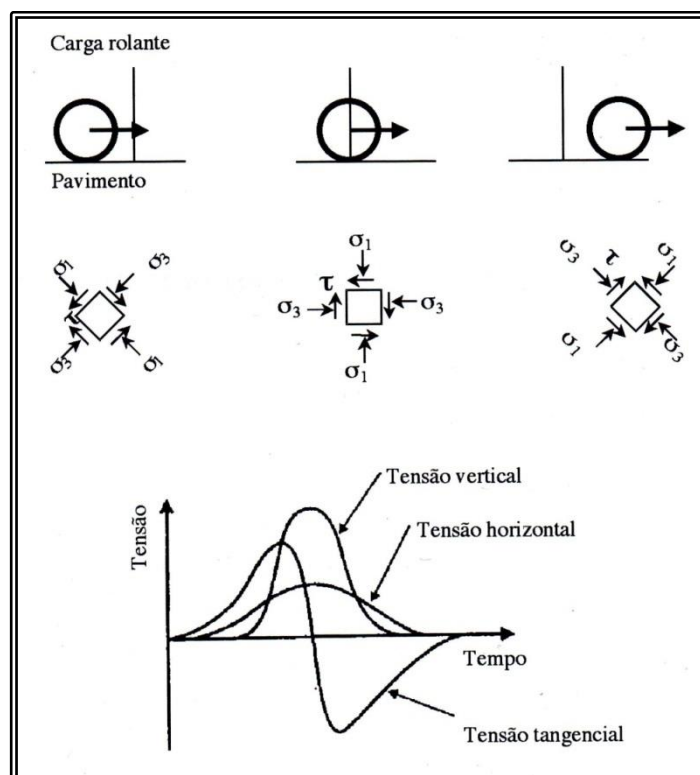


Figura 13 – Solicitações induzidas no pavimento pela passagem de uma carga rolante e consequente rotação das tensões principais (Adaptado de Luzia, 2008).

O carregamento repetido induzido pelo tráfego, provoca nas camadas granulares dois tipos de deformação: deformação recuperável (resiliente) e deformação residual (permanente) (Figura 14).

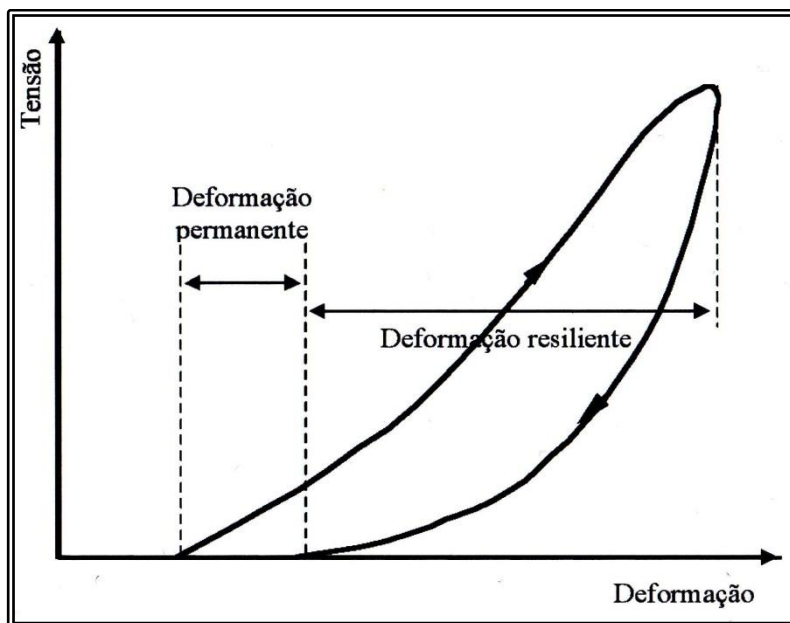


Figura 14 – Deformação sofrida pelos materiais granulares durante um ciclo de carga-descarga (Adaptado de Luzia, 2008).

De acordo com Lekarp *et al.* (2000) ref. por Luzia (2008), a deformação resiliente traduz a capacidade imediata de resistência do pavimento, ao passo que a deformação permanente caracteriza o comportamento do pavimento a longo prazo. Com uma elevada repetição de ciclos de carga-descarga, e não havendo rotura estrutural do pavimento, a deformação em cada ciclo passa a ser totalmente recuperada, passando o material a ter um comportamento resiliente, sendo o seu módulo resiliente igual ao módulo secante (Figura 15).

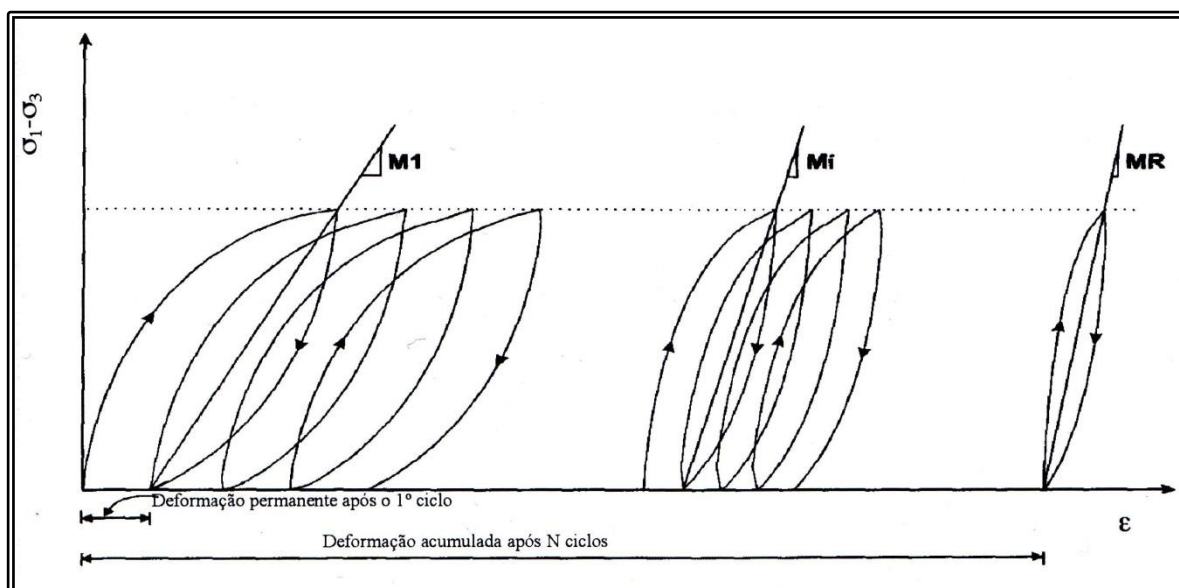


Figura 15 – Evolução da deformação de um material granular com o número de ciclos (Adaptado de Luzia, 2008).

Segundo Machado (2012), o comportamento mecânico destas camadas, em particular o seu módulo de deformabilidade depende das condições de estado, nomeadamente da compactidade, o teor em água e o estado de tensão (função de estrutura de pavimento e das condições de fundação).

Para uma correta modelação do comportamento estrutural de um pavimento, é necessário conhecer a espessura de cada camada, o seu módulo de deformabilidade e o coeficiente de *Poisson*. Admitindo que o coeficiente de *Poisson* não tem grande variação dentro da mesma gama de materiais, é fixado um valor típico para cada material, sendo este de 0,35 para materiais granulares.

A avaliação das relações tensões/deformações pode ser determinada através da realização de ensaios triaxiais com cargas repetidas, segundo a norma AASHTO TP 46 (1994).

De acordo com Luzia (2008), os fatores que influenciam o comportamento mecânico dos pavimentos são:

a) No comportamento resiliente:

- Estado de tensão;
- Compactidade;
- Granulometria, percentagem de finos e máxima dimensão do agregado;
- Teor em água;
- História de tensões e número de ciclos de carga-descarga;
- Tipo de agregados e forma das partículas
- Duração da aplicação de carga, frequência e sequência de carregamento.

b) No comportamento plástico:

- Estado de tensão;
- Reorientação das tensões principais;
- Número de ciclos de carga-descarga;
- Teor em água;
- História de tensões;
- Compactidade;
- Granulometria, percentagem de finos e tipo de agregado;

a) Modelação do comportamento mecânico a partir do módulo resiliente

O módulo resiliente é definido como a relação entre a tensão deviatória cíclica em compressão axial e a deformação recuperável resiliente (Equação 2).

$$M_r = \frac{\sigma_{ciclica}}{\varepsilon_{1r}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\varepsilon_{1r}} \text{ MPa} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

M_r - Módulo resiliente;

$\sigma_{ciclica}$ - Tensão axial cíclica ($\sigma_{m\acute{a}x.} - \sigma_{contato}$);

$\sigma_1 - \sigma_3$ - Tensão deviatória;

ε_{1r} - Deformação axial resiliente (recuperada).

Existem vários modelos de caracterização do comportamento resiliente de materiais granulares, onde se destaca o modelo de Dunlap (Dunlap, 1963 ref. por Luzia, 2008) em que o módulo resiliente pode ser calculado pela Equação 3.

$$M_r = k_1 \sigma_3^{k_2} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

M_r - Módulo resiliente;
 σ_3 - Tensão de confinamento;
 k_1 e k_2 - Parâmetro do modelo.

Este modelo pressupõe que o módulo resiliente aumenta com a tensão de confinamento, sendo pouco afetada pela magnitude da tensão deviatória.

b) Modelação do comportamento mecânico a partir da extensão vertical

Para a modelação do comportamento mecânico a partir da extensão vertical, é crucial ter em conta tanto a acumulação gradual da deformação plástica, resultante do número de ciclos de carga-descarga, como a influência do estado de tensões aplicado.

Existem vários modelos de caracterização do comportamento mecânico a partir da extensão vertical de materiais granulares, onde se destaca o modelo de Barksdale (Barksdale, 1972 ref. por Luzia, 2008), em que a extensão vertical é calculada pela Equação 4.

$$\varepsilon_{1P} = a_2 + b_2 \log N \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

ε_{1P} - Extensão vertical;
 N - Número de ciclos de carga-descarga;
 a_2 e b_2 - Parâmetros do modelo.

Este modelo conclui que a extensão vertical é função do número de ciclos de carga-descarga, de acordo com uma relação lognormal.

O trabalho realizado por Freire (1994) na sua tese de mestrado, é um exemplo dos trabalhos efetuados para aprofundar o conhecimento das características destas camadas, com o objetivo do correto dimensionamento das mesmas.

3.5 Considerações finais

O papel das camadas granulares de base e sub-base é fundamental no comportamento estrutural dos pavimentos rodoviários, sendo que o comportamento mecânico destas camadas, nomeadamente o seu módulo de deformabilidade, depende das condições de estado, como a compactidade, o teor em água e o estado de tensão.

As camadas granulares não ligadas, dependendo da sua capacidade de imbricamento e atrito interno, podem ser capazes de resistir a esforços de compressão e corte.

Segundo Lekarp *et al.* (2000) ref. por Luzia (2008), o carregamento repetido induzido pelo tráfego, provoca nas camadas granulares dois tipos de deformação: deformação recuperável (resiliente) que caracteriza a capacidade imediata de resistência do pavimento, e deformação plástica (permanente), que caracteriza o comportamento do pavimento a longo prazo.

Uma revisão dos modelos de comportamento mecânico de camadas granulares pode ser consultada no trabalho de Gomes-Correia *et al.* (1999).

As recomendações europeias para ensaios a camadas granulares não ligadas podem ser consultadas no trabalho de Huhtalav *et al.* (2002).

4. CASO DE ESTUDO – CARATERIZAÇÃO LABORATORIAL DAS AMOSTRAS

4.1 Generalidades

Mármore provém do grego *marmairein* ou do latim *marmor* e significa pedra de qualidade ou pedra branca; para os geólogos o mármore é exclusivamente uma rocha metamórfica cristalina e carbonatada, composta por cristais de calcite (mármore calcítico), ou dolomite (mármore dolomítico), resultante da recrystalização de rochas calcárias ou dolomíticas previamente existentes, na maior parte de natureza sedimentar. No caso dos mármore alentejanos, apenas se exploram os de natureza calcítica, embora os mármore dolomíticos sejam mais abundantes, mas, por se encontrarem muito fraturados, não é possível obter blocos com dimensão média comerciável próximas de: 2 x 1,5 x 1,2 metros (Lopes, 2009).

4.2 Enquadramento geográfico e geológico do mármore estudado (Mármore de Vila Viçosa)

O Anticlinal de Estremoz-Borba-Vila Viçosa situa-se no Alentejo, mais propriamente no distrito de Évora. Possui forma elíptica com cerca de 40 km no eixo maior e 7 km no eixo menor, e está orientado segundo NW-SE, começando em Sousel e acabando em Alandroal, como pode ser observado na Figura 16.

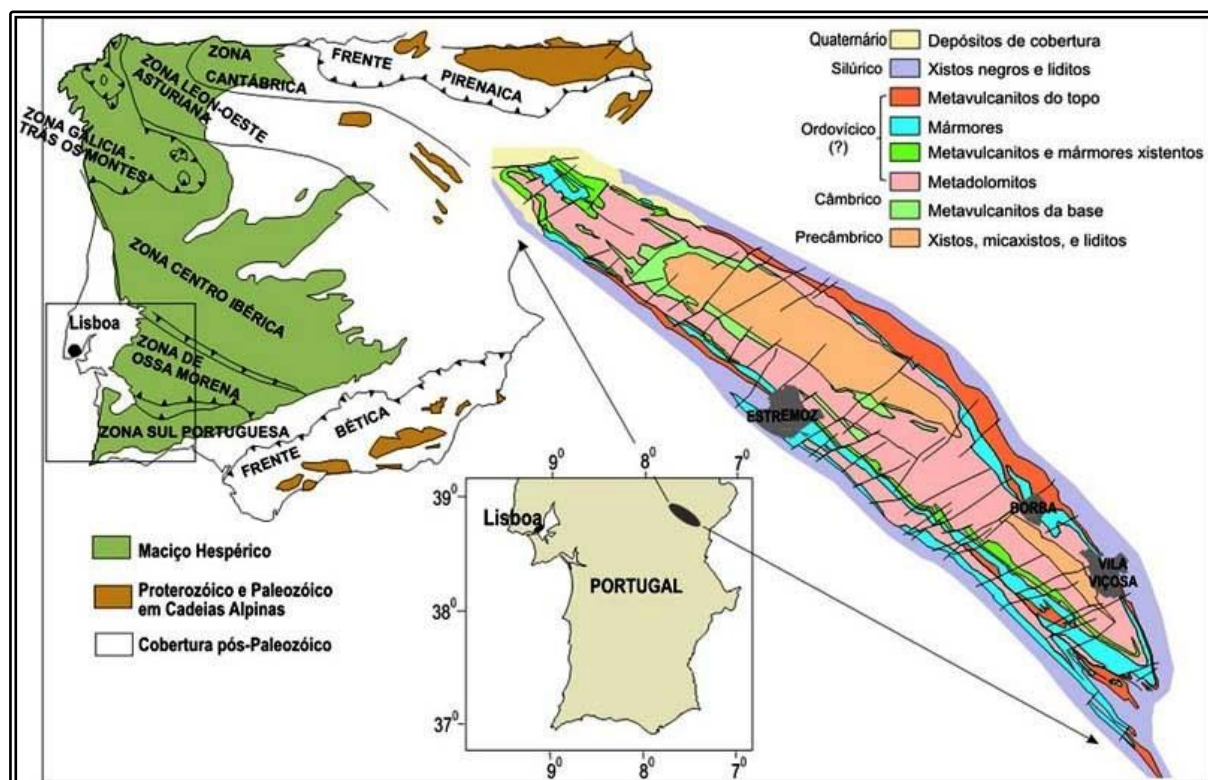


Figura 16 - Enquadramento do anticlinal de Estremoz-Borba-Vila Viçosa (Carvalho, 2008).

Em termos de coordenadas geográficas, esta estrutura está localizada numa latitude entre 38°44'N e 38°51'N e uma longitude variando entre 7°23'W e 7°36'W. As povoações mais importantes desta faixa marmórea são Estremoz, Vila Viçosa, Borba, Rio de Moinhos e Bencatel. O anticlinal apresenta cotas que variam entre 300 m, nas zonas mais baixas, e 500 m nos locais mais altos, sendo frequentes cotas em torno dos 400 m.

No que respeita às vias de comunicação, esta zona é atravessada por várias estradas e caminhos que ligam as povoações existentes. Como principais vias de comunicação para o exterior destacam-se a Autoestrada A6 (Lisboa – Elvas) e a Estrada Nacional n.º 4.

Em termos geográficos as cartas que apresentam a zona do Anticlinal são as folhas nº 426, 440 e 441 da Carta Militar, à escala 1:25.000, dos Serviços Cartográficos do Exército (Guerreiro, 2000).

A pedraira, onde é explorado o mármore em referência, situa-se na Herdade da Vigária, freguesia de Bencatel, conselho de Vila Viçosa, inserida no flanco SW do Anticlinal de Estremoz-Borba-Vila Viçosa (Figura 17). Os mármoreos encontram-se representados pelas tonalidades azul claro e escuro (Lopes & Martins, 2010 apud Moreira & Vintém, 1997).

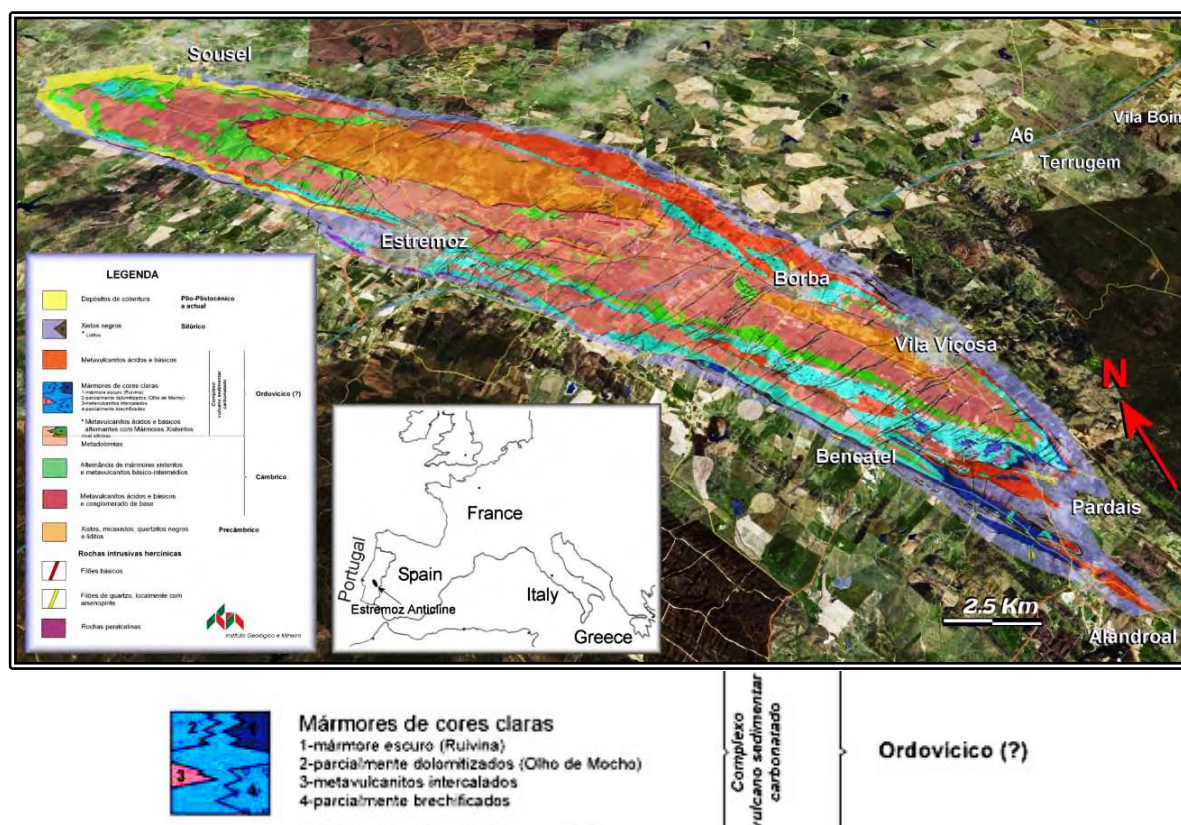


Figura 17 – Extrato do mapa geológico do anticlinal de Estremoz (Moreira, J., and Vintém, C., coords., 1997), sobreposto numa imagem do Google Earth. Os mármoreos encontram-se representados nas tonalidades azul claro e escuro. (Adaptado de Lopes & Martins, 2010).

A pedraira, algo fraturada mas sem falhas importantes, apresenta intercalações dolomíticas como as únicas heterogeneidades. As reservas de mármoreos são razoáveis, sendo os blocos extraídos de tamanho médio ou, por vezes, grande, sendo geralmente serrados "contra" (LNEG, 2016).

4.3 Caracterização laboratorial

4.3.1 Seleção e amostragem

O material estudado, tendo em vista a sua aplicação em camadas não ligadas de base e de sub-base, é um agregado britado de granulometria extensa, de mármore, identificado neste trabalho como ABGE 0/32 TB (*Tout-venant* britado), sendo proveniente do centro de produção de agregados da empresa Mota-Engil Engenharia. Este material (Figura 18) tem origem no aproveitamento dos blocos de mármore de menores dimensões rejeitados da indústria extrativa de rocha ornamental.

Todos os produtos, provenientes deste centro de produção, possuem uma qualidade certificada, atestada pela Marcação CE (Mota-Engil, 2016).



Figura 18 – Aspeto inicial do material estudado - ABGE 0/32 TB.

4.3.2 Caracterização mineralógica, petrográfica e química

Os mármoreos têm como idade geológica provável Câmbrio a Silúrio Inferior. Macroscopicamente são mármoreos de grão médio e de cor esbranquiçada, com tons rosados e alguns traços acinzentados (Figura 19). Microscopicamente têm textura granoblástica, apresentando como mineral essencial a calcite (99%) de grão médio e vestígios de quartzo (LNEG, 2016).



Figura 19 - Amostra do ABGE 0/32.

A análise química não foi efetuada no âmbito deste trabalho. De acordo com o catálogo de rochas ornamentais portuguesas - LNEG (LNEG, 2016), a composição química para o mármore em estudo apresenta-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Análise química

Al ₂ O ₃	0,50 %
CaO	55,21 %
Fe ₂ O ₃ (total)	0,08 %
K ₂ O	0,11 %
MgO	0,08 %
MnO - vest.	%
Na ₂ O	0,03 %
P.R. (L.O.I.)	42,95 %
SiO ₂	0,97 %
TiO ₂	Vestigial

(Disponível em: <http://rop.lneg.pt/rop/FormProduto.php>)

4.3.3 Caracterização física e mecânica

A caracterização física e mecânica dos resíduos de escombreira foi efetuada através da execução de um conjunto de ensaios laboratoriais preconizados nos procedimentos e normas de ensaio aplicáveis.

Procedeu-se à execução dos ensaios laboratoriais de acordo com a norma harmonizada NP EN 13242:2002 e A1:2010.

4.3.4 Ensaios laboratoriais

A amostra previamente reduzida segundo a norma NP EN 932-2:2002, foi submetida a lavagem e posteriormente a secagem em estufa a 110°C, durante 24h. O aspeto da amostra apresenta-se na Figura 20, tendo como escala uma moeda de 0,20€.

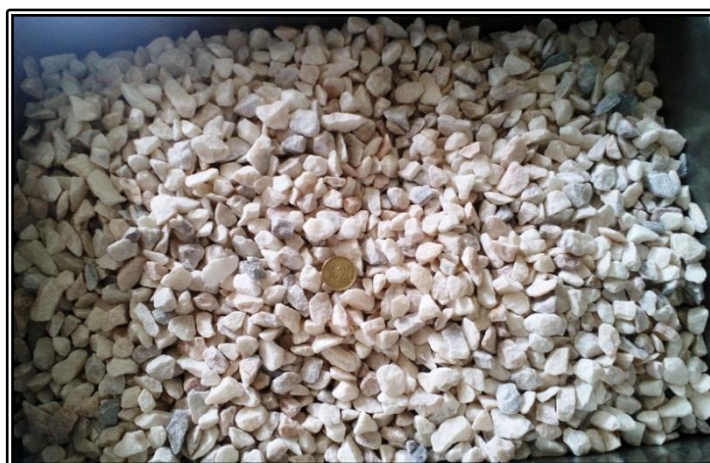


Figura 20 - Amostra após lavagem e secagem.

4.3.4.1 Análise granulométrica

De acordo com a norma NP EN 933-1:2014, procedeu-se à análise granulométrica do material em estudo, agregado de mármore britado de granulometria extensa (ABGE).

Este material possui uma dimensão máxima (D) de 31.5 mm e mínima (d) de 0 mm. Para este ensaio, utilizaram-se os peneiros da série base + a série 2.

Este ensaio tem como objetivo a separação, por meio de um conjunto de peneiros, de um material em diversas classes granulométricas de granulometria decrescente.

O método adotado é a peneiração com lavagem, seguida de peneiração a seco.

Procedimento:

1. Redução da amostra.
2. Secagem ($110\pm 5^\circ\text{C}$) até atingir uma massa constante, pesar o provete - M_1 .
3. O provete vai ser completamente mergulhado em água, durante 24h, e vai sofrer uma agitação para separação completa dos finos.
4. Lavagem do material passando pelos peneiros (peneiração por via húmida) de dimensões 2 mm, 1 mm e 0,063 mm até a água sair límpida.
5. Secagem do material, superior a 0,063 mm, a ($110\pm 5^\circ\text{C}$) até alcançar uma massa constante.
6. Arrefecimento e pesagem - M_2 .
7. Peneiração, com a seguinte bateria de peneiros (31,5 mm, 20 mm, 16 mm, 14 mm, 12,5 mm, 10 mm, 8 mm, 6,3 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,500 mm, 0,250 mm, 0,125 mm, 0,063 mm)
8. Pesagem do material retido em cada peneiro, registando as massas em $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$. Massa do material retido no fundo - P (material inferior a 0,063 mm)

$$M_1 = 17,4300 \text{ Kg}$$

$$M_2 = 16,0010 \text{ Kg}$$

$$P = 0,0203 \text{ Kg}$$

Através da fórmula
$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$
, obteve-se um teor de finos $f = 8,3 \%$.

Da análise granulométrica obteve-se a curva granulométrica apresentada na Figura 21.

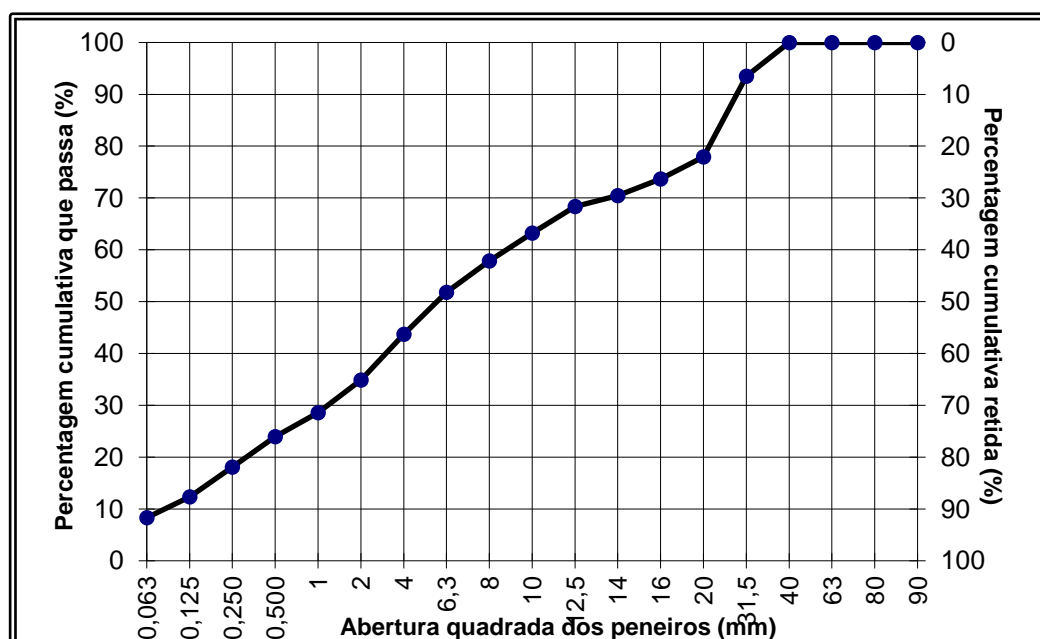


Figura 21 - Curva granulométrica ABGE 0/32

A percentagem acumulada de material passado em cada peneiro é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Percentagem acumulada de passados em cada peneiro

Abertura quadrada em cada peneiro (mm)	% Acumulada de Passados
40	100
31,5	94
20	78
16	74
14	70
12,5	68
10	63
8	58
6,3	52
4	44
2	35
1	29
0,500	24
0,250	18
0,125	12
0,063	8,3

Segundo a norma harmonizada NP EN 13242:2002 e A1:2010 e para um ABGE com $D > 6,3$ mm e $d=0$, deve respeitar os requisitos especificados na Tabela 7.

Tabela 7 - Requisitos gerais da granulometria.

	Cálculo do peneiro a utilizar (mm)	# Peneiro com abertura mais próxima (mm)	Média de passados no ensaio realizado (%)	$G_A 85$ (%)	$G_A 80$ (%)
2D	63	63	100	-	100
1,4D	44,1	40	100	100	98 a 100
D	31,5	31,5	94	85 a 99	80 a 99

Como se pode observar na Tabela 7, o ABGE pertence à categoria $G_A 85$.

4.3.4.2 Índice de forma

De acordo com a norma NP EN 933-4:2008, procedeu-se ao cálculo do índice de forma, para $D > 2d$ e frações granulométricas reduzidas, conforme a norma EN 932-2:2002.

Segundo a norma harmonizada NP EN 13242:2002 e A1:2010 e para um ABGE, este procedimento aplica-se a agregados de dimensões d/D em que $D \leq 63$ mm e $d \geq 4$ mm.

Este ensaio tem como objetivo a determinação da forma dos agregados e o cálculo do seu índice de forma.

Procedimento:

1. Secar a amostra a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
2. Rejeitar partículas superiores a 31,5 mm e inferiores a 4 mm.
3. Separar nas classes granulométricas
4. Registrar a massa do provete M_0 .

5. Medir o comprimento (L) e a espessura (E) de cada partícula utilizando um paquímetro.

5.1. No caso, dos provetes conterem mais de 100 partículas: Deve-se reduzir a amostra com o esquartelador, até obter as 100 partículas desejadas.

6. Separar as partículas (não cúbicas).

7. Pesas essas partículas não cúbicas.

Resultados:

$M_0 = 3648,6 \text{ g}$

Índice de forma (SI) = 12 % < 20 %

Conclui-se que a categoria SI é a **SI₂₀**.

4.3.4.3 Teor de finos

Segundo a norma harmonizada NP EN 13242:2002 + A1:2010 e para um ABGE, procedeu-se à categorização do teor de finos, referentes à percentagem passada no peneiro 0,063 mm.

Resultados:

% Passada (peneiro de 0,063 mm) = 8,3 % < 9 %

Conclui-se que pertence à categoria **f₉**.

4.3.4.4 Equivalente de areia

De acordo com a norma NP EN 933-8:2014, procedeu-se à determinação do equivalente de areia (SE) da fração 0/2 mm contida no ABGE.

O objetivo deste ensaio consiste em determinar a quantidade de impurezas e finos na mistura de agregado. Quanto maior for o equivalente de areia, menor é a quantidade de finos na amostra.

O ensaio realiza-se a uma temperatura de 23°C em sala climatizada, num provete de 120 g, com um teor de humidade inferior a 2%.

Procedimento:

1. Preparar o provete elementar, reduzindo-o de acordo com NP EN 932-2.

2. Introduziu-se a solução de lavagem até à marca inferior de ambas as provetas.

3. Introduziu-se o agregado 0/2 mm.

4. Deram-se pancadas ligeiras na base das provetas, para facilitar o humedecimento do provete.

5. Deixou-se repousar as provetas durante 10 minutos.

6. Selaram-se as provetas com uma rolha de borracha.

7. Agitaram-se as provetas na máquina de agitação durante 30 segundos.

8. Colocaram-se as provetas na posição vertical.

9. Lavaram-se as paredes e a rolha de cada uma das provetas com a solução floclante.

10. Deixou-se repousar as provetas durante 20 minutos.

11. Mediu-se e registou-se h_1 (distância da base da proveta à base superior do floclado) em ambas as provetas.

12. Introduziu-se lentamente os mergulhadores até à base do floclado, fixando o mesmo na proveta.

13. Mediu-se e registou-se h_2 (distância entre a face inferior da cabeça do mergulhador e a face superior do anel fixo na proveta) em ambas as provetas, através de uma craveira.

As medições são arredondadas ao milímetro.

Como o teor de finos da fração 0/2 mm é superior a 10% (22,4%), as partículas lavadas e retidas no #0,063 mm são usadas como agregado fino corretor seco (M_4).

A massa M_4 (66,4 g) foi adicionada a M_3 (53,6 g) para a realização de novo ensaio.

O valor médio do Equivalente de Areia, SE(10), é arredondado à unidade.

Resultados:

Provete 1: $h_1 = 110$ mm, $h_2 = 82$ mm

Provete 2: $h_1 = 112$ mm, $h_2 = 78$ mm

Através da fórmula $\left[SE(10) = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \right]$, obteve-se um $SE(10) = 72$.

Conclusão:

O valor do equivalente de areia varia entre 0-100, sendo 0 um material argiloso (finos prejudiciais) e 100 um material arenoso. O valor obtido no ensaio realizado foi de 72, o que indica que os finos presentes na amostra não são prejudiciais.

4.3.4.5 Azul de metileno

De acordo com a norma NP EN 933-9:2009 + A1:2013, procedeu-se à determinação do azul de metileno (MB) da fração 0/2 mm contida no ABGE.

O objetivo deste ensaio consiste em detetar a existência de impurezas como argilas e matéria orgânica na mistura de agregado, ou seja, a presença de materiais sensíveis à água.

Procedimento:

1. Preparar o provete elementar, reduzindo-o de acordo com NP EN 932-2.
2. O provete deve ser seco até massa constante, a uma temperatura inferior a 45°C.
3. Peneirar no crivo de 2 mm, desprezando todas as partículas retidas neste.
4. A massa a ensaiar deve ser, no mínimo, de 200 g (m_i).
5. Colocar 500 ± 5 ml de água desmineralizada num gobelé e adicionar o provete de ensaio.
6. Encher a bureta com a solução de azul de metileno.
7. Agitar a solução a 600 ± 60 rpm durante 5 minutos, com a hélice posicionada sensivelmente a 10 mm da base do gobelé.
8. Adicionar 5 ml da solução de azul de metileno.
9. Agitar a 400 ± 40 rpm durante 1 minuto e executar o ensaio da mancha.
10. Se a mancha não contiver a auréola, adicionar mais 5 ml da solução corante e agitar durante mais 1 minuto.
11. Este procedimento deve ser repetido até que o ensaio da mancha dê positivo.

De acordo com a referida norma de ensaio, o teste é considerado positivo se na zona húmida à volta do depósito central se formar uma auréola persistente azul clara de cerca de 1 mm de espessura. O ponto final é confirmado pela repetição do teste da mancha a cada minuto que passa (2, 2a, 2b, 2c e 2d), durante 5 min sem que se adicione mais solução corante (Figura 22).

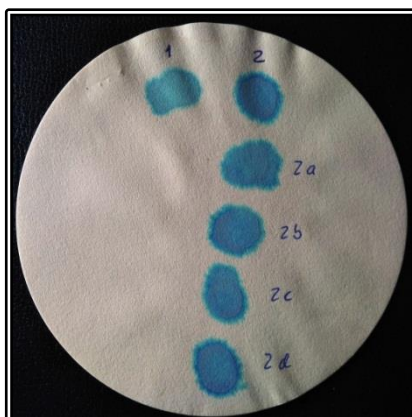


Figura 22 - Auréolas do ensaio do azul de metileno.

Resultados:

$$V_1 = 10 \text{ ml}, V' = 0 \text{ ml}$$

$$M_1 = 200 \text{ g}$$

$$\text{Através da fórmula } \left[MB = \frac{V_1 - V'}{M_1} \times 10 \right], \text{ obteve-se um } MB = 0,5$$

Em que MB representa a massa de corante (g) por quilograma de agregado.

Conclusão:

Quanto mais quantidade de azul de metileno for necessário, mais ativas serão as partículas de argila existentes na suspensão ensaiada. Como no procedimento de ensaio não foi necessário acrescentar mais solução de azul de metileno, conclui-se que as partículas de argila presentes na amostra não são prejudiciais.

4.3.4.6 Micro-Deval

De acordo com a norma NP EN 1097-1:2011, procedeu-se ao ensaio de desgaste por atrito do agregado (coeficiente de Micro-Deval (M_{DE})), para partículas com dimensões compreendidas entre 10 mm e 14 mm.

Este ensaio tem como objetivo a determinação do coeficiente micro-Deval, que corresponde à percentagem da amostra original reduzida a uma dimensão inferior a 1,6 mm, após rotação num cilindro com pequenas esferas de aço e de água.

Procedimento:

1. O material usado neste ensaio passa no peneiro de 14 mm e fica retido no peneiro de 10 mm.
2. Depois de verificar que 66% da massa total da amostra passa no peneiro de 12,5 mm prepararam-se dois provetes de (500 ± 2) g cada.
3. Cada um destes provetes elementares foi colocado num cilindro, em conjunto com uma carga de esferas de aço de (5000 ± 5) g e $(2,5 \pm 0,05)$ l de água para cada (Figura 23).
4. Após a colocação dos cilindros no equipamento estes submetem-se a uma rotação de cerca de 100 voltas por minuto durante 120 minutos.
5. Após o ensaio a amostra foi lavada e peneirada no peneiro de 1,6 mm.
6. O material retido foi seco e pesado, resultando num valor médio do coeficiente micro-Deval.



Figura 23 - Preparação do ensaio de micro-Deval

Resultados:

$$m_1 = 338,3 \text{ g}, m_2 = 330,3 \text{ g}$$

Através da fórmula $\left[M_{DE} = \frac{500 - m_i}{5} \right]$, obteve-se um valor médio de $M_{DE} = 33 < 35$

Conclui-se que pertence à categoria **M_{DE}35**.

4.3.4.7 Los Angeles

De acordo com a norma NP EN 1097-2:2011, procedeu-se ao ensaio de resistência à fragmentação do agregado (coeficiente de Los Angeles (LA)), para uma massa de provete de no mínimo 15 kg, de partículas compreendidas entre 10 mm e 14 mm. Estas partículas devem respeitar um dos seguintes critérios:

- 60% a 70% de material passado no peneiro 12,5 mm, ou
- 30% a 40% de material passado no peneiro 11,5 mm.

Procedimento:

1. Lavar a amostra e secar em estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, até massa constante.
2. Deixar arrefecer até atingir a temperatura ambiente.
3. Reduzir a amostra de acordo com NP EN 932-2, até uma massa de provete de $5000 \pm 5 \text{ g}$.
4. Preparar o ensaio introduzindo no tambor da máquina 11 esferas metálicas que totalizam uma massa de 4,816 kg., e de seguida o provete. Iniciar a rotação a uma velocidade constante de 31 rpm a 33 rpm, totalizando 500 voltas.
5. Retirar a amostra da máquina (Figura 24) e através de lavagem e peneiração recuperar o material retido no peneiro 1,6 mm.
6. Secar o material retido até massa constante e pesar (m_1)

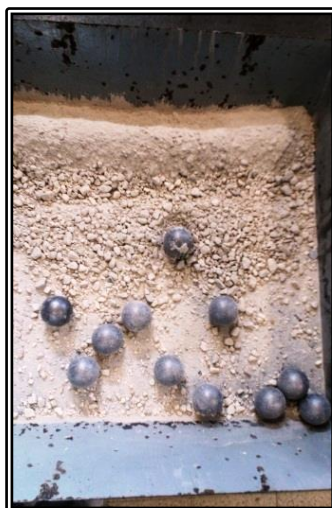


Figura 24 – Aspeto do material no final do ensaio de Los Angeles.

Resultados:

$$m_1 = 3232,4 \text{ Kg}$$

Através da fórmula $\left[LA = \frac{5000 - m}{50} \right]$, obteve-se um $LA = 35$

Conclui-se que pertence à categoria **LA₃₅**.

4.3.4.8 Baridade

De acordo com a norma NP EN 1097-3:2002, procedeu-se à determinação da baridade e do volume de vazios. O volume de vazios representa o espaço preenchidos por ar, entre os agregados, no recipiente. A baridade ou densidade aparente é o quociente entre o peso do agregado seco e o seu volume total. Quanto maior for a baridade da rocha, tanto maior será a sua resistência à compressão.

Procedimento:

1. Obter três provetes em conformidade com o NP EN 932-2. Os agregados devem ser secos a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até massa constante. A massa de cada provete elementar deve estar compreendida entre 120 % e 150 % da massa necessária para encher o recipiente.
2. Pesas o recipiente vazio, seco e limpo (m_1).
3. Pousar o recipiente sobre uma superfície horizontal e enchê-lo, com o auxílio de uma pá, até transbordar.
4. Remover com cuidado todo o excesso no cimo do recipiente, de forma que a superfície seja visível de maneira uniforme para evitar a segregação.
5. Nivelar a superfície dos agregados com o auxílio de uma régua, tendo cuidado para não compactar nenhuma parte da superfície superior.
6. Pesas o recipiente cheio e registar a sua massa com aproximação de 0,1% (m_2)
7. Efetuar o ensaio para os três provetes.

Através da fórmula $\left[\rho_b = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \right]$, obtém-se o valor da baridade (ρ_b) para cada provete elementar.

Através da fórmula $\left[v = \left[\frac{(\rho_p - \rho_b)}{\rho_p} \right] \times 100 \right]$, obtém-se o valor percentual do volume de vazios (v).

A Tabela 8 apresenta os resultados do ensaio.

Tabela 8 - Baridade, massa volúmica e percentagem de vazios

			Provetes		
			1	2	3
$\rho_{bi} = (m_2 - m_1) / V$	Baridade	(Mg/m ³)	1,91	1,91	1,90
ρ_b	Baridade média de 3 provetes	(Mg/m ³)	1,91		
ρ_p	Massa volúmica das partículas secas	(Mg/m ³)	2,927		
$v = [(\rho_p - \rho_b) / \rho_p] \times 100$	Percentagem de vazios	(%)	34,9		

Conclui-se que a baridade média dos 3 provetes (ρ_b) é de 1,91 Mg/m³, e o volume de vazios (v) é de 34,9%.

4.3.4.9 *Massa volúmica*

De acordo com a norma NP EN 1097-6:2003, procedeu-se à determinação das massas volúmicas do ABGE.

A massa volúmica das partículas é calculada a partir da razão entre a massa e o volume. A massa do provete é determinada pela pesagem do provete com as partículas saturadas com superfície seca e a partir de outra pesagem do mesmo provete após secagem em estufa. O volume é determinado a partir da massa da água deslocada, quer pela redução de massa no método do cesto de rede metálica, quer por pesagens no método do picnómetro.

a) Método do picnómetro:

- Frações 4 mm/0,063 mm e 31,5 mm/4 mm

Procedimento:

1. Pesar o picnómetro limpo e seco com a sua rolha (m_0). Encher o picnómetro com (10 ± 1) g de fíler e pesá-lo novamente (m_1). Acrescentar líquido suficiente para cobrir completamente o provete elementar;
2. Colocar a rolha no picnómetro, colocá-lo no secador a vácuo e esvaziá-lo com a ajuda da bomba de vácuo em aproximadamente 5 min. a ($3,0 \pm 0,3$) kPa. Deixar o picnómetro no secador a vácuo durante 30 min ($3,0 \pm 0,3$) kPa;
3. Depois de se ter restabelecido a pressão de ar no dessecador, retirar o picnómetro e enchê-lo de líquido. Mergulhar o picnómetro sem a rolha em banho-maria a ($25,0 \pm 0,1$) °C, para que a extremidade superior emerja, 2 a 3 mm da superfície da água. Ao fim de 60 minutos, colocar a rolha no picnómetro o que provocará a subida de uma dada quantidade de líquido no tubo capilar;
4. Secar a extremidade superior do tubo capilar e retirar o picnómetro do banho-maria. Arrefecer o picnómetro debaixo de água fria corrente para evitar que o líquido saia do tubo capilar devido à manipulação a quente. Secar cuidadosamente a parte exterior do picnómetro, e pesar a massa total do picnómetro, do provete elementar e do líquido (m_2);
5. Calcular a massa volúmica do fíler em megagramas por metro cúbico (Mg/m^3), através da seguinte equação:

$$\rho_f = \left[\frac{(m_1 - m_0)}{V - \frac{(m_2 - m_1)}{\rho_l}} \right]$$

Em que:

V – volume do picnómetro, em mililitros;

ρ_l – massa volúmica do líquido a 25°C, em mega gramas por metro cúbico;

ρ_f – massa volúmica real do fíler a 25°C, em mega gramas por metro cúbico.

A principal diferença no procedimento de ensaio respeita à secagem da superfície das partículas que é realizada com um pano para a fração mais grossa (31,5 mm/4 mm) e através de uma fonte de calor para a fração mais fina (4 mm/0,063 mm).

Para a fração mais fina, secar o provete numa camada uniforme ao longo de um tabuleiro, através de uma fonte suave de ar quente, de forma a evaporar a humidade da superfície das partículas. Deixa-se a amostra arrefecer à temperatura ambiente.

Para avaliar se a superfície foi seca, segura-se o molde metálico de um cone normalizado com a sua face de maior diâmetro para baixo na parte inferior do tabuleiro. Enche-se o molde do cone com parte da amostra seca, através do orifício na parte superior do molde e coloca-se um calcador de metal sobre a superfície da amostra e calca-se a superfície 25 vezes, deixando a queda do calcador sob o seu próprio peso. Se o cone de agregado não entrar em colapso, continua-se a secagem e repete-se o teste do cone até que o colapso ocorra na remoção do molde, tal como exemplificado na Figura 25.



Figura 25 – Aspeto do cone (Fração 4 mm/0,063 mm)

b) Método do cesto de rede metálica:

- Fração 63 mm/31,5 mm.

Procedimento:

1. Lavar o provete sobre o peneiro de 63 mm e sobre o peneiro de 31,5 mm, rejeitando qualquer partícula retida no peneiro 63 mm.
2. Colocar o provete preparado no cesto de rede metálica e emergir o provete no tanque com água ($22\pm3^{\circ}\text{C}$), com uma altura de água de pelo menos 50 mm acima do topo do cesto.
4. Levantar o cesto cerca de 25 mm acima da base do tanque e deixá-lo cair 25 vezes.
5. Deixar o cesto imerso na água durante $24\pm0,5$ h.
6. Agitar o cesto com o provete e pesar o cesto com o provete na água (m_2).
7. Verter o agregado sobre o pano seco e pesar o cesto vazio imerso (m_3).
8. Secar cuidadosamente a superfície das partículas e pesá-las (m_1).
9. Secar o agregado em estufa a $110\pm5^{\circ}\text{C}$ até massa constante e, após arrefecimento à temperatura ambiente, registar o seu peso (m_4).

A massa volúmica do material impermeável (ρ_a) é dada por:

$$\rho_a = \rho_w \times \left[\frac{m_4}{m_4 - (m_2 - m_3)} \right]$$

Em que (ρ_w) é a massa volúmica da água à temperatura registada na determinação de m_2 .

Os resultados do ensaio para a determinação das massas volúmicas, para cada fração granulométrica, encontram-se resumidos na Tabela 9.

Tabela 9 - Massas volúmicas

EN 1097-6:2003				Unidades
Massas Volúmicas	Frações			
	63 mm / 31,5 mm	31,5 mm / 4 mm	4 mm / 0,063 mm	
Material impermeável (ρ _i)	-	2,713	2,711	Mg/m ³
Partículas saturadas (ρ _{sa})	-	2,696	2,704	Mg/m ³
Partículas secas em estufa (ρ _{se})	2,712	2,686	2,700	Mg/m ³
Absorção de água	-	0,4	0,2	%

Os valores obtidos para as massas volúmicas estão em conformidade com os valores presentes na declaração de desempenho do agregado, fornecida pelo produtor.

4.4 Análise e discussão de resultados

A Tabela 10 apresenta um resumo dos ensaios de caracterização física e mecânica, realizados aos rejeitados de escombreira, assim como a classificação destes de acordo com a norma NP EN 13242:2002+A1:2010.

Tabela 10 - Resumo dos ensaios e classificação

Ensaio	Referência Normativa	Valores	Unidades	Classificação
Granulometria	NP EN 933-1:2014	-	-	G _A 85
Índice de Forma	NP EN 933-4:2008	12	%	SI ₂₀
Teor de finos	NP EN 13242:2002 + A1:2010	8,3	%	f ₉
Equivalente de Areia	NP EN 933-8:2014	72	%	SE(10) = 70
Azul de Metileno	NP EN 933-9:2009 + A1:2013	0,5	g/1000g	MB 0,5
Micro-Deval	NP EN 1097-1:2011	33	%	M _{DE} 35
Los Angeles	NP EN 1097-2:2011	35	%	LA ₃₅
Baridade	NP EN 1097-3:2002	1,91	Mg/m ³	ρ_b

Os valores obtidos para as massas volúmicas encontram-se resumidos na Tabela 9.

A distribuição granulométrica dos rejeitados de escombreira estudados, com uma dimensão máxima (D) de 31,5 mm, está representada na Figura 31, assim como o fuso granulométrico apresentado no EP-CETO (2014) para camadas de base e de sub-base.

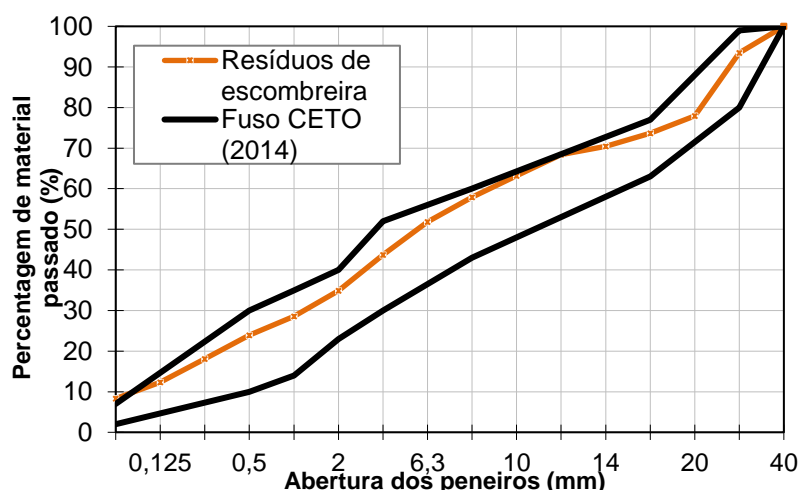


Figura 26 - Curva granulométrica do rejeitado de escombreira de mármore estudado e fuso granulométrico para camadas não ligadas (EP - CETO, 2014)

Da análise do Figura 26, verifica-se que a distribuição granulométrica do material em estudo, encontra-se mais próxima do limite superior do fuso granulométrico do EP-CETO (2014), sendo que a percentagem de material passado no peneiro de 0,063 mm é de 8,3%, ligeiramente superior ao intervalo apresentado (2% a 7%), revelando uma fração de finos um pouco superior ao preconizado no referido caderno de encargos.

O caderno de encargos (EP-CETO, 2014), tendo em conta a norma harmonizada NP EN 13242+A1:2010, preconiza critérios de aceitação/rejeição dos agregados naturais em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários (Tabela 11).

Tabela 11 - Critérios de aceitação/rejeição dos agregados naturais, para camadas não ligadas (NP EN 13242:2002+A1:2010) (adaptado de EP-CETO, 2014)

Requisitos/ Propriedades	Ref. normativa	Unid.	Camada de sub-base	Camada de base
			ABGE	ABGE
			Rubrica 14.03.1.1.2	Rubrica 14.03.1.2.1
Qualidade dos finos - Valor de equivalente de areia, mínimo e Valor do ensaio de azul de metileno, máximo	NP EN 933-8, NP EN 933-9	% g/kg	Se o teor total de finos for superior a 3 %, então $SE \geq 40$. Caso $SE < 40$, então $MB \leq 2,5$	Se o teor total de finos for superior a 3 %, então $SE \geq 50$. Caso $SE < 50$, então $MB \leq 2,0$
Resistência à fragmentação do agregado grosso, coeficiente Los Angeles	NP EN 1097-2	%	Valor Requerido 45	LA ₄₀
Resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso, coeficiente Micro-Deval	NP EN 1097-1	%	M _{DE35}	M _{DE25}
Massa volúmica das partículas	NP EN 1097-6	Mg/m ³	A declarar	
Absorção de água	NP EN 1097-6	%		

Legenda (Tabela 11)

	Verifica
	Não Verifica

Da análise da Tabela 11 verifica-se que ABGE ensaiado neste estudo, é apropriado para a aplicação em camadas granulares de sub-base não ligadas de pavimentos rodoviários.

Averiguou-se que existe uma restrição para a aplicação deste ABGE em camadas granulares de base. A classe de valores do ensaio de micro-Deval máxima, aceite para a utilização em camadas de base é a M_{DE25}. Como os rejeitados de escombreyas em estudo pertencem à classe M_{DE35}, é limitada a sua aplicação em camadas de base, camada em que o material deve apresentar uma melhor qualidade relativamente à camada adjacente (sub-base).

Comparando os resultados obtidos neste estudo com os presentes de um estudo realizado sobre vários produtos produzidos em diferentes centros de produção/pedreiras nacionais (Freire & Antunes, 2008), onde foram caracterizados laboratorialmente dez tipos de agregados com diferentes origens e tipos petrográficos, verifica-se que os valores obtidos para os rejeitados de escombreyas são da mesma ordem de grandeza.

Na Figura 27 apresenta-se uma proposta de ficha técnica deste material, elaborada com base na caracterização laboratorial realizada, tendo como objetivo a aplicação dos rejeitados de escombreyas em camadas não ligadas de base e de sub-base (Freire, 2016).

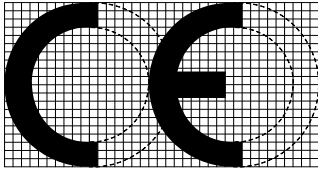
 <p>NP EN 13242+A1 Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária</p>			
Dimensão das partículas	Designação	(0/31,5) categoria $G_A 85$	
Forma das partículas	Valores declarados	FI35	SI ₂₀
Massa volúmica das partículas (31,5 mm / 4mm)	Valores declarados FI35	do material impermeável 2,454±0,05 Mg/m ³	
		das partículas saturadas 2,351±0,05 Mg/m ³	
		das partículas secas 2,280±0,05 Mg/m ³	
Massa volúmica das partículas (4 mm / 0,063mm)	Valores declarados FI35	do material impermeável 2,375±0,1 Mg/m ³	
		das partículas saturadas 2,251±0,1 Mg/m ³	
		das partículas secas 2,162±0,1 Mg/m ³	
Absorção de água	Valores declarados	31,5 mm / 4 mm 4 mm / 0,063 mm	1% 1%
Limpeza teor em finos qualidade dos finos	Categoria Valor limite aceite Valor limite aceite	f ₉ MB ≤ 0,5 g/kg SE > 70	
Resistência à fragmentação / esmagamento	Categoria	LA ₃₅	
Resistência ao atrito	Categoria	M _{DE} 35	

Figura 27 - Proposta de informação para marcação CE dos rejeitados de escombreira estudados, sujeitos ao sistema 2+ (Freire, 2016).

5. CONCLUSÕES

Urge implementar uma sustentabilidade na indústria extrativa, geradora de grandes volumes de resíduos como blocos não conformes e fragmentos de pedra não aproveitados resultantes da extração e transformação desta.

Este trabalho teve o intuito de contribuir para a redução deste passivo ambiental, aplicando o material de escombreyras de mármore em vias de comunicação, em particular em camadas não ligadas de base e de sub-base de pavimentos rodoviários. Para a caracterização ABGE proveniente do centro de produção da Mota-Engil, efetuou-se um conjunto de ensaios físico-mecânicos, com vista a caracterizar as suas propriedades tendo em vista a sua aplicação.

Macroscopicamente os rejeitados de escombreyra em estudo são mármore de grão médio e de cor esbranquiçada, com tons rosados e alguns traços acinzentados. Microscopicamente apresentam uma textura granoblástica, apresentando como mineral essencial a calcite (99%) de grão médio e vestígios de quartzo.

No contexto da realização de ensaios tipo iniciais com vista à marcação CE dos agregados, foram realizados ensaios para determinar propriedades consideradas relevantes, de entre aquelas referidas na norma harmonizada NP EN 12522:2002+A1:2010.

Com base nos resultados dos ensaios, elaborou-se uma proposta de ficha técnica para marcação CE do rejeitado de escombreyra estudado.

Os valores obtidos foram também comparados com os do Caderno de Encargos das Estradas de Portugal (EP-CETO, 2014) tendo em vista avaliar a possibilidade de aplicação em camadas de base e de sub-base de pavimentos rodoviários, com base naquele documento.

Dos resultados obtidos, apenas o valor do ensaio de micro-Deval não está em conformidade para a aplicação do material estudado em camadas de base.

Considera-se contudo que a possibilidade de aplicar este material em camadas de base não ligadas de pavimentos rodoviários não deverá ser liminarmente recusada por não verificar um dos parâmetros propostos no Caderno de Encargos das Estradas de Portugal (EP-CETO, 2014). Esta possibilidade de aplicação deverá ser suportada com a avaliação do desempenho estrutural deste material quando aplicado em trecho experimental construído para o efeito (Freire, 2016).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, S. M. L. (2014) - A presença da cultura organizacional chinesa nos negócios em Portugal (Tese de mestrado, Universidade de Aveiro).

Azevedo, M. (2012) - Directivas para a concepção de pavimentos - Critérios de dimensionamento. InIR.

Cabral, P. (2013) - O potencial geológico nacional: solução para o enriquecimento de Portugal - III Jornadas APG – 28 e 29 de Novembro, LNEC.

Carvalho, J. M. F. (2008) - Cartografia Temática do Anticlinal-Zona dos Mármore. Éter, Évora. ISO 690.

Costa, C. (1992) - As Pedreiras do Anticlinal de Estremoz – A geologia de engenharia na exploração e recuperação ambiental de pedreiras (Dissertação de Doutoramento, Dissertação Apresentada para Obtenção do Grau de Doutor em Geotecnia, Especialidade de Geologia de Engenharia pela Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa).

EP-CETO (2014) - EP - Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO) 14.03 – Pavimentação - Características dos materiais, Estradas de Portugal, S.A., Setembro 2014.

EP-CETO (2014a) - EP - Caderno de Encargos Tipo Obra (CETO) 15.03 – Pavimentação - Métodos construtivos, Estradas de Portugal, S.A., Setembro 2014.

Eurostat (2017) - Disponível em <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do> (Acedido em Abril de 2017)

Falé, P. (2015) - Resíduos da Indústria Extrativa - O Processo de Licenciamento, Seminário Gestão, Projeto, Construção e Encerramento de Instalações de Resíduos Mineiros - DGEG, Lisboa - 27 janeiro 2015.

Freire, A. C. (1994) - Estudos relativos a camadas de pavimentos constituídas por materiais granulares. Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa.

Freire, A.C., Antunes, M.L. (2008) - Caracterização de agregados produzidos em Portugal de acordo com as referências normativas EN 13043 e EN 13242. Relatório LNEC 399/2008 - NIRA.

Freire, A. C. *et al.* (2016) - Caracterização de rejeitados de escombreyras de pedreiras de rocha ornamental para aplicação em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários – Artigo para QIC 2016 – LNEC, Lisboa – Novembro 2016.

Gomes-Correia, A., Hornyh, P., & Akou, Y. (1999) - Review of models and modelling of unbound granular materials. Unbound Granular Materials & Laboratory testing, In-situ testing and modelling, Gomes Correia, A.(Ed.), AA Balkema, Rotterdam, 3-15.

Guerreiro, H. J. P. (2000) - Exploração Subterrânea de Mármore - Aspectos Geotécnicos. Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em Georrecursos- Área de Geotecnia. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Huhtalav, M., Dawson, A. R., & Mundy, M. J. (2002) - Unbound Granular Materials for Road Pavements, COST-337 and COURAGE. In Workshop on Modelling and Advanced Testing for Unbound Granular Materials (pp. 15-26).

INE (2007) - Classificação Portuguesa das Atividades Económicas (CAE-Rev.3), Lisboa, INE.

Jeremias, F. T., Freire, A. C. (2009) - Agregados aplicáveis em infraestruturas rodoviárias segundo a normalização europeia – Actas do 10.º Congresso Nacional de Geotecnia - 22 a 26 de Maio de 2006.

Jornal Expresso (2013) – Disponível em <http://expresso.sapo.pt/economia/chineses-querem-desperdicios-dos-marmores-alentejanos=f795669>. (Acedido em Abril de 2017)

LNEG (2016) - Rochas Portuguesas. Disponível <http://rop.lneg.pt/rop/index.php>. (Acedido em Abril de 2017)

Lopes, L. (2009) - O triângulo do mármore – Estudo geológico. Dossiê Monumentos 27, 2009, pág. 7.

Lopes, L., Martins, R. (2010) – Aspectos da geologia e exploração de mármore em Vila Viçosa: Património geológico e mineiro a preservar, Callipole N.º, Câmara Municipal de Vila Viçosa, pp. 255 – 275, ISSN: 0872 5225.

Luz, L. B. (2005) - Análise Crítica ao Modelo de Desenvolvimento do Sector das Pedras Naturais: O Caso dos Mármore no Triângulo de Estremoz – Borba - Vila Viçosa, 1980-2003. Dissertação de mestrado em Economia e Estudos Europeus apresentada ao Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa. 295 p.

Luzia, R.C. (2008) - Camadas não Ligadas em Pavimentos Rodoviários: Estudo do Comportamento. Coimbra: Almedina. 334 p.

Machado, A. B. (2012) - Contribuição para a avaliação estrutural de infraestruturas rodoviárias por métodos não destrutivos (Tese de doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia).

Moreira, J. & Vintém, C. (1997) – Carta Geológica do Anticlinal de Estremoz, escala 1:25.000, Dept. Rochas e Minerais Não Metálicos, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

Mota-Engil (2016) – Centro de produção de agregados de Vila Viçosa. Disponível em <http://engenharia.mota-engil.pt/areas-especializadas/agregados/centros-de-producao/vila-vicosa>. (Acedido em Maio de 2017)

Pliz, A. J. S. (2016) - Integração e Recuperação Paisagística em Pedreiras (Tese de mestrado, Universidade de Évora).

Porter, M. E. (1999). Competição: estratégias competitivas essenciais. Gulf Professional Publishing.

PROVERE - Zona dos mármore. Disponível em <http://www.ccdt-a.gov.pt/> (Acedido em Abril de 2017)

RCM nº 78 (2012) - CAPÍTULO III - Plano de Ação ENRG-RM 2020, ANEXO - Estratégia Nacional para os Recursos Geológicos - Recursos Minerais, Resolução do Conselho de Ministros nº 78/2012 de 11-09-2012.

Reis, N. (2009) - Análise Estrutural de Pavimentos Rodoviários - Aplicação a um Pavimento Reforçado com Malha de Aço (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa).

Ribeiro, T. S. G. M. (2011). Valorização de escomboreiras da indústria extractiva de mármore no Alentejo (Tese de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia).

Santos, A. G. B. (2009) - Bases granulares de agregados reciclados (Tese de mestrado, Universidade de Aveiro).

Santos, J. (2010) - Materiais Utilizados na Construção de Pavimentos Rodoviários (Tese de mestrado, Universidade de Aveiro).

Silva, H. M. (2006) - Caracterização do Mastique Betuminoso e da Ligação Agregado-Mastique: Contribuição para o estudo do comportamento das misturas betuminosas (Tese de doutoramento, Universidade do Minho).

Valente, J. P. (2015) - Rumo à Economia Circular - Boletim Trimestral Nº 19 - Alentejo Hoje - CCDR Alentejo - Dezembro 2015.

Valorpedra (2014) - Disponível em <http://www.valorpedra.com/parceria-dos-recursos-minerais/> (Acedido em Abril de 2017)

Normas Nacionais, Europeias e Americana

NP EN 932-1:2002 - “Ensaio para a determinação das propriedades gerais dos agregados. Parte 1- Métodos de amostragem todos de amostragem

NP EN 932-2:2002 - “Ensaio para a determinação das propriedades gerais dos agregados. Parte 2 - Método de redução de amostras laboratoriais

NP EN 932-3:2000 - “Ensaio para a determinação das propriedades gerais dos agregados. Parte 3 - Métodos e terminologia para a descrição petrográfica simplificada”

NP EN 933-1:2014 - “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração”

NP EN 933-4:2008 - “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 4: Determinação da forma das partículas. Índice de forma”

NP EN 933-8:2014 - “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 8: Avaliação dos finos – Ensaio do equivalente de areia”,

EN 933-9:2009+A1:2013-en – Tests for geometrical properties of aggregates. Part 9: Assessment of fines - Methylene blue test,

NP EN 1097-1:2011 - ”Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 1: Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval)”,

NP EN 1097-2:2011 - “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Método para a determinação da resistência à fragmentação”,

NP EN 1097-3:2002 - “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios”,

NP EN 1097-6:2003 “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água”,

NP EN 1367:2013 - Ensaios das propriedades térmicas e de meteorização dos agregados

NP EN 1744:2012 - Ensaios das propriedades químicas dos agregados

NP EN 13242:2002+A1:2010 – Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária

EN 13285:2010. Unbound mixtures. Specifications. CEN. Brussels.

AASHTO TP 46 (1994) - “Standard test method for determining the resilient modulus of soils and aggregate materials”.

7. ANEXOS

BOLETINS DE REGISTO DOS ENSAIOS LABORATORIAIS



EN 933-1:2012 – Análise Granulométrica - Método de Peneiração

NP EN 13242:2002+A1:2010 – Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária

DATA	Procedimento usado:	PROCESSO Nº
06-11-2015	Lavagem e peneiração (1)	
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: Tout-venant 0/32 mámore VV		

Massa seca total M_1 =	17,4300 kg
Massa seca após lavagem M_2 =	16,0010 kg
Massa dos finos removidos por lavagem $M_1 - M_2$ =	1,4290 kg

Dimensão da abertura dos peneiros (Série base mais a série 2) (mm)	Massa do material retido (R_i) (kg)	% do material retido $\left(\frac{R_i}{M_1} \times 100 \right)$	% cumulativa do material passado $\left(100 - \frac{R_{iAcumulado}}{M_1} \times 100 \right)$
90	0,0000	0,0	100
80		0,0	100
63		0,0	100
40		0,0	100
31,5	1,1325	6,5	94
20	2,7166	15,6	78
16	0,7446	4,3	74
14	0,5550	3,2	70
12,5	0,3634	2,1	68
10	0,9008	5,2	63
8	0,9282	5,3	58
6,3	1,0574	6,1	52
4	1,4175	8,1	44
2	1,5298	8,8	35
1	1,1065	6,3	29
0,500	0,8048	4,6	24
0,250	1,0202	5,9	18
0,125	1,0023	5,8	12
0,063	0,6979	4,0	8,3

Material restante no fundo (P)	(kg)	0,0203
$\sum R_i + P$	(kg)	15,9978

Percentagem de finos (f) que passa no peneiro 0,063 mm:	(1)	$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 =$	8,3 %
	(2)	$f = \frac{P}{M_1} \times 100 =$	%

Validação dos resultados:	$\frac{M_2 - (\sum R_i + P)}{M_2} \times 100 =$	0,02 %	$\leq 1\%$
---------------------------	---	--------	------------

Equipamento utilizado: EQ 34.43; EQ 34.41; EQ 34.40; EQ 34.39; EQ 34.38; EQ 34.36; EQ 34.35; EQ 34.34; EQ 34.61; EQ 34.30; EQ 34.5; EQ 34.4; EQ 34.3; EQ 34.55; EQ 34.58; EQ 04.2

Observações:

OPERADOR:

VISTO:



EN 933-1:2012 – Análise Granulométrica - Método de Peneiração

NP EN 13242:2002+A1:2010 – Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária

DATA

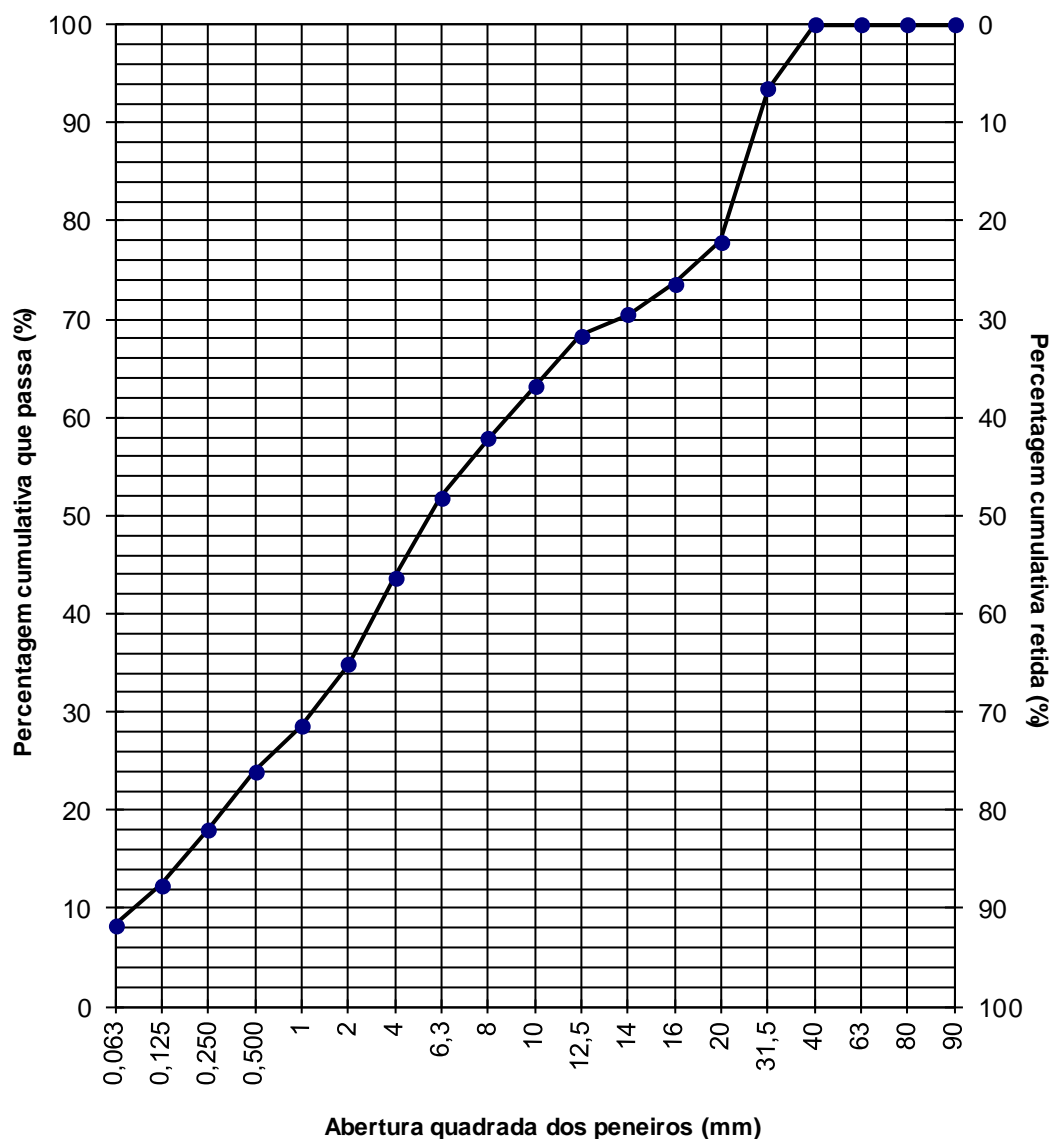
06-11-2015

CURVA GRANULOMÉTRICA

PROCESSO Nº

0

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: Tout-venant 0/32 mámore VV



OPERADOR:

VISTO:



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

LNEC-EM Ensaios e Metrologia

UPAVMAT - Unidade de Pavimentos e Materiais para Infraestruturas de Transportes

EN 933-4:2008 - DETERMINAÇÃO DA FORMA DAS PARTÍCULAS - ÍNDICE DE FORMA

DATA		PROCESSO Nº
20-11-2015		

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: Tout-venant 0/32 mármore VV

TIPO DE PROVETE A ENSAIAR: ☒ Provete com $D > 2d$ e fracções granulométricas reduzidas

Massa total da amostra a ensaiar, M_0 (g): 3648,6

Fracção granulométrica retida no peneiro (mm)	Fracções granulométricas (d_i/D_i) com $D_i \leq 2d_i$		Fracções granulométricas ensaiadas (fracções d_i/D_i com $V_i \geq 10\%$)		Fracções ensaiadas e eventualmente reduzidas	Partículas não cúbicas ($L/E > 3$) das fracções granulométricas ensaiadas e reduzidas		$V_{li} \times SI_i$	Índice de forma SI (%)
	M_i (g)	V_i (%)	M_{li} (g)	V_{li} (%)		M_{2i} (g)	SI_i (%)		Com fracções reduzidas
31,5/63	403,3	11,1	403,3	11,1	403,3	67,8	16,8	185,8	12
16/31,5	1315,4	36,1	1315,4	36,1	1315,4	82,0	6,2	224,7	
8/16	1022,7	28,0	1022,7	28,0	511,2	73,1	14,3	400,8	
4/8	907,2	24,9	907,2	24,9	246,2	41,4	16,8	418,1	

ΣM_{li} (g)	ΣV_{li} (%)
3648,6	100

$\Sigma (V_{li} \times SI_i)$ (%)
1229

Nota: Apenas se ensaiam as fracções que contenham pelo menos 10% de M_0

Equipamento utilizado: EQ 1.3; EQ 34.48; EQ 34.43; EQ 34.40; EQ 34.35; EQ 34.61

Observações:

OPERADOR:

VISTO:



NP EN 933- 8:2014

DATA 09-12-2015	DETERMINAÇÃO DO EQUIVALENTE DE AREIA (fração 0/2 mm)		PROCESSO Nº
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:		Tout-venant 0/32 mármore VV	
Passo 2 - 2ª Subamostra: Reduzir de acordo com a NP EN932-2:2002 para obter 2 provetes elementares (sem secar artificialmente)			
Identificação da proveta			1 2
	Temperatura do ensaio (23 ± 3) °C	(°)	20
$M_T = \frac{120(100 + w)}{100}$	Massa do provete, se o teor de finos for inferior ou igual a 10% (arredondamento a 1g)	(g)	---
$M_T = M_3 + M_4$	Massa do provete, se o teor de finos for superior a 10% (arredondamento a 1g)	(g)	120 120
$M_3 = \frac{1200}{f} \left(1 + \frac{w}{100} \right)$	Massa do agregado húmido obtida da 2ª subamostra	(g)	53,6
$M_4 = 120 - \frac{1200}{f}$	Massa de agregado fino corretor seco	(g)	66,4
h_1	Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão (arredondamento a 1mm)	(mm)	110 112
h_2	Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão (arredondamento a 1mm)	(mm)	82 78
$SE(10) = \frac{h_2}{h_1} 100$	Equivalente de areia (arredondamento à décima)		74,5 70,1
Diferença entre o valor de SE dos dois provetes elementares			4
NOTA : O SE dos dois provetes elementares não deverá divergir em mais de 4 unidades			
Valor médio do Equivalente de Areia SE(10) (arredondado à unidade)			72
Passo 1 - 1ª Subamostra: Reduzir de acordo com a NP EN 932-2:2002 para obter 2 provetes			
1ª Subamostra - Passo 1.1: Determinação do teor de água por secagem em estufa (EN 1097-5)			
t	Massa do tabuleiro	(g)	152,6
h	Massa do tabuleiro + amostra húmida	(g)	442,8
s	Massa do tabuleiro + amostra seca	(g)	442,5
c = h - s	Massa da água	(g)	0,3
d = s - t	Massa da amostra seca	(g)	289,9
$W = \frac{c}{d} 100$	Teor em água (arredondamento a 0,1%) Nota: Se o provete tiver sido retirado de um AGE, o teor de água deverá ser inferior a 2%	(%)	0,1
1ª Subamostra - Passo 1.2: Determinação do teor de finos			
M_1	Massa da amostra seca	(g)	291,0
M_2	Massa da amostra seca (retida no peneiro de 0,063mm)	(g)	225,6
$f = 100 - \frac{M_2(100 + w)}{M_1}$	Teor de finos Nota: Se o teor de finos da fracção 0/2mm for superior a 10%, então as partículas lavadas e retidas no #0,063mm são usadas como agregado fino corretor seco	(%)	22,4 Superior a 10%
Atenção: A determinação da massa M_T de cada provete elementar da 2ª subamostra depende do teor de finos ser ou não superior a 10%			
Equipamento:		EQ 34.7; EQ 34.58; EQ 34.60; EQ 17; EQ 6.3; EQ 2.1; EQ 01.2; EQ 13.1; EQ 13; EQ 28.15; Provetas graduadas; Pistão de ensaio; Escova de peneiros; Espátula; Frasco; Tubo de lavagem; Tubo de borracha; Funil; Papel de filtro.	
OPERADOR:		VISTO:	



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

LNEC-EM Ensaios e Metrologia

UPAVMAT - Unidade de Pavimentos e Materiais para Infraestruturas de Transportes

EN 933-9:2009+A1:2013 Determinação do Azul de Metileno

DATA	Fracção 0/2 mm	PROCESSO Nº
02-12-2015		

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: Tout-venant 0/32 mármore VV

PROCEDIMENTO DE SECAGEM	<i>Com pré secagem inferior a 45°C</i>		1ª Sub-Amostra	2ª Sub-Amostra
M	Massa da amostra húmida (0/2 mm) (no mínimo 200g)	(g)	231,9	
M ₀	Valor mínimo $M_0 \geq 200(1 + \frac{w}{100})$	(g)		200,3
	Massa amostra húmida 0/2 mm	(g)		200,1
$M_1 = \frac{M_0}{(1 + \frac{w}{100})}$	Massa da amostra seca (arredondamento a 1g) (valor teórico)	(g)		200
V'	Volume de solução absorvida pela caulinite (se não utilizada, toma o valor de 0 ml)	(ml)		0
V ₁	Volume total de solução corante adicionada (arredondamento a 1 ml)	(ml)		10
$MB = \frac{V_1 - V'}{M_1} \times 10$	Massa de corante por quilograma da fracção de agregado 0/2 mm (arredondamento a 0,1g)	(g)		0,5

Determinação do teor em água

M _t	Massa do tabuleiro	(g)	31,2	
M _h	Massa do tabuleiro + amostra húmida	(g)	263,1	
M=M _h -M _t	Massa da amostra húmida	(g)	231,9	
M _s	Massa do tabuleiro + amostra seca	(g)	262,7	
M'=M _s -M _t	Massa da amostra seca	(g)	231,5	
$W = 100 \frac{(M - M')}{M'}$	Teor em água	(%)	0,2	0,2

Equipamento utilizado : EQ 46; EQ 47; EQ 36; EQ 6.3; EQ 34.7; EQ 17; EQ 28.15; EQ 2.1; Papel filtro; Gobelé vidro; Frasco vidro; Espátula; Exsicador.

Observações:

OPERADOR:

VISTO:



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

LNEC-EM Ensaios e Metrologia

UPAYMAT - Unidade de Pavimentos e Materiais para Infraestruturas de Transportes

NP EN 1097-1 de 2011 - Determinação da resistência ao desgaste (MICRO-DEVAL)

DATA	PROCESSO Nº
18-11-2015	

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: Tout-venant 0/32 mármore VV

Massa da amostra passada no peneiro de 14mm e retida no de 10mm			(kg)	15,3764
Massa do material passado no peneiro de	12,5 mm		(g)	10217,5
Percentagem do material passado no peneiro de		(60 a 70)	(%)	66
Massa do material passado no peneiro de	11,2 mm		(g)	6134,1
Percentagem do material passado no peneiro de		(30 a 40)	(%)	40

PROVETE			1	2
Água adicionada em cada Cilindro	I		2,5 ±0,05	
Massa total das esferas a utilizar no ensaio	(g)		5000 ±5	
Massa constante da amostra a ensaiar	500 ± 5	(g)	504	503
Massa constante da amostra após a realização do ensaio (<i>m</i>)		(g)	338,3	330,3
Coeficiente Micro-Deval $M_{DE} = \frac{500 - m}{5}$		M _{DE}	32,3	33,9
Valor médio do Coeficiente Micro-Deval		M _{DE}	33	

Equipamentos utilizados: EQ 34.6; EQ 34.9; EQ 34.11; EQ 34.12; EQ 34.13; EQ 34.60; EQ 17;
Proveta graduada; Equipamento redução de amostras (EN 932-2); EQ 19.1; EQ 19.2

Observações:

OPERADOR:

VISTO:



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

LNEC-EM Ensaios e Metrologia

UPAVMAT - Unidade de Pavimentos e Materiais para Infraestruturas de Transportes

NP EN 1097-2: 2011 - Determinação da resistência à fragmentação
pelo método de Los Angeles

DATA	Agregados Grossos	PROCESSO Nº
18-11-2015		

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA: Tout-venant 0/32 mármore VV

Massa da amostra passada no peneiro de 14mm e retida no de 10mm		(kg)	15,3764
Massa do material passado no peneiro de	12,5 mm	(g)	10217,5
Percentagem do material passado no peneiro de		(60 a 70) (%)	66
Massa do material passado no peneiro de	11,2 mm	(g)	6134,1
Percentagem do material passado no peneiro de		(30 a 40) (%)	40

Número total de esferas

11

Número total de rotações

500

Massa total das esferas a utilizar no ensaio

4,690 a 4,860

(kg)

4,816

Massa constante da amostra a ensaiar

5000 ± 5

(g)

5000,2

Massa constante da amostra após a realização do ensaio (m)

(g)

3232,4

(material retido no peneiro de 1,6mm)

Coeficiente Los Angeles $LA = \frac{5000 - m}{50}$

(LA)

35

Equipamentos utilizados: EQ 34.6; EQ 34.36; EQ 34.37; EQ 34.38; EQ34.39; EQ 04.2;
EQ 34.59; EQ 17; EQ 18.1; EQ 18.4; Tabuleiro; EQ 18.3


Observações:

OPERADOR:

VISTO:

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES			
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL			
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES			
NÚCLEO DE INFRAESTRUTURAS			
LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS PARA PAVIMENTAÇÃO (LNEC/PAVMAT)			
NP EN 1097-6 2003 Anexo A			
Determinação das massas volúmicas das partículas secas de agregados densos			
DATA	PROCESSO Nº		
03-12-2015	Agregados densos Fracção (63mm / 31,5 mm)		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA : Tout-venant 0/32 mármore VV			
m ₁	Massa elementar do provete elementar seco em estufa	(g)	5077,40
m ₂	Massa do cesto de rede metálica + provete imerso	(g)	4737,90
m ₃	Massa do cesto de rede metálica vazio imerso	(g)	1529,10
$m_1/(m_1-(m_2+m_3))$	Massa volúmica das partículas secas	(Mg/m ³)	2,712
T	Temperatura da água	(°C)	20
ρ_w	Factor de correcção com a temperatura da água		0,9982
Equipamento utilizado EQ 34.48; EQ 34.43; EQ 28.15;			
		Temp. água (°C)	ρ_w
EQ 2.1; EQ 17; EQ 04.2; EQ 34.59; Tabuleiros;		19	0,9984
		20	0,9982
Banho maria; Panos absorventes; Cesto		21	0,9980
		22	0,9978
rede metálica; Tanque impermeável		23	0,9975
		24	0,9973
Observações :		25	0,9970
OPERADOR:		VISTO:	

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES			
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL			
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES			
NÚCLEO DE INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS E AEROPORTUÁRIAS			
LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS PARA PAVIMENTAÇÃO (LNEC/PAVMAT)			
NP EN 1097-6 2003 Determinação das massas volúmicas e absorção de água			
DATA	Agregados densos Fracção (31,5 mm / 4 mm)		PROCESSO Nº
26-11-2015			
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA : Tout-venant 0/32 mármore VV			
Picnómetro nº			8
m ₂	Massa do picnómetro + provete + água	(g)	8094,30
m ₅	Massa do tabuleiro de recolha	(g)	2287,90
m ₆	Massa do tabuleiro + provete seco	(g)	4667,00
m ₃	Massa do picnómetro + água	(g)	6590,10
m ₇	Massa do tabuleiro + provete saturado	(g)	4676,00
m ₁ =m ₇ -m ₅	Massa do provete saturado	(g)	2388,10
m ₄ =m ₆ -m ₅	Massa do provete seco	(g)	2379,10
$\rho_i = [m_4 / (m_4 - m_2 + m_3)] \times \rho_w$	Massa volúmica do material impermeável	(Mg/m ³)	2,713
$\rho_{sa} = [m_1 / (m_1 - m_2 + m_3)] \times \rho_w$	Massa volúmica das partículas saturadas	(Mg/m ³)	2,696
$\rho_{se} = [m_4 / (m_1 - m_2 + m_3)] \times \rho_w$	Massa volúmica das partículas secas	(Mg/m ³)	2,686
A=100x(m ₁ -m ₄)/m ₄	Absorção de água	(%)	0,4
T	Temperatura da água	(°C)	22
ρ_w	Factor de correcção com a temperatura da água		0,9978
$\rho_{sa} = 1 + \rho_{se} - \rho_{se} / \rho_i$	Verificação dos valores		2,696
Equipamento utilizado :		EQ 34.43; EQ 34.61; EQ 17	Temp. água
			ρ_w
EQ 34.59; EQ 04.2; EQ 28.15; Banho			19
			20
maria, Tabuleiros; Panos absorventes			21
			22
Observações :			23
			24
			25
OPERADOR:		VISTO:	

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES			
			
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL			
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES			
NÚCLEO DE INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS E AEROPORTUÁRIAS			
LABORATÓRIO DE ENSAIO DE MATERIAIS PARA PAVIMENTAÇÃO (LNEC/PAVMAT)			
NP EN 1097-6 2003 Determinação das massas volúmicas e absorção de água			
DATA	Agregados densos Fracção (4 mm / 0,063 mm)		PROCESSO Nº
26-11-2015			
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA : Tout-venant 0/32 mármore VV			
Picnómetro nº			1
m ₂	Massa do picnómetro + provete + água	(g)	1798,20
m ₅	Massa do tabuleiro de recolha	(g)	2139,80
m ₆	Massa do tabuleiro + provete seco	(g)	3062,80
m ₃	Massa do picnómetro + água	(g)	1214,90
m ₇	Massa do tabuleiro + provete saturado	(g)	3064,20
m ₁ =m ₇ -m ₅	Massa do provete saturado	(g)	924,40
m ₄ =m ₆ -m ₅	Massa do provete seco	(g)	923,00
$\rho_i = [m_4 / (m_4 - m_2 + m_3)] \times \rho_w$	Massa volúmica do material impermeável	(Mg/m ³)	2,711
$\rho_{sa} = [m_1 / (m_1 - m_2 + m_3)] \times \rho_w$	Massa volúmica das partículas saturadas	(Mg/m ³)	2,704
$\rho_{se} = [m_4 / (m_1 - m_2 + m_3)] \times \rho_w$	Massa volúmica das partículas secas	(Mg/m ³)	2,700
$A = 100 \times (m_1 - m_4) / m_4$	Absorção de água	(%)	0,2
T	Temperatura da água	(°C)	22
ρ_w	Factor de correcção com a temperatura da água		0,9978
$\rho_{sa} = 1 + \rho_{se} - \rho_{se} / \rho_i$	Verificação dos valores		2,704
Equipamento utilizado :		EQ 34.61; EQ 34.58; EQ 17	Temp. água
			ρ_w
EQ 35.59; EQ 06.3; EQ 28.15; Banho			19
			20
maria; Tabuleiros; Molde metálico; Pilão			21
			22
Observações :		metálico; Funil; Fonte de ar quente	23
			24
			25
OPERADOR:		VISTO:	